

Вінницький національний технічний університет  
Факультет електроенергетики та електромеханіки  
Кафедра електричних станцій і систем

**МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

на тему:

**РЕЛЕЙНИЙ ЗАХИСТ БЛОКА ГЕНЕРАТОР-ТРАНСФОРМАТОР  
З ГЕНЕРАТОРОМ ТВВ 1000**

Виконав: студент 2-го курсу, групи 1ЕС-22м  
спеціальності 141 «Електроенергетика,  
електротехніка та електромеханіка»  
освітня програма «Електричні станції»

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Мазур І.М. Мазур І.М.  
(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., проф., професор каф. ЕСС

(науковий ступінь, учене звання, посада)

Рубаненко О. Є. Рубаненко О. Є.  
(прізвище та ініціали)

« 03 » 12 2023 р.

Опонент: К.Т.Н., доц. каф. ЕСС

(науковий ступінь, учене звання, посада)

Бабенко О. В.  
(прізвище та ініціали)

« 03 » 12 2023 р.

Допущено до захисту  
завідувач кафедри ЕСС  
д.т.н., професор Комар В. О.

Комар В. О.  
« 04 » листопада 2023 р.

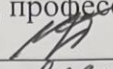
Вінниця ВНТУ – 2023 рік

Вінницький національний технічний університет  
Факультет електроенергетики та електромеханіки  
Кафедра електричних станцій та систем  
Рівень вищої освіти другий (магістерський)  
Галузь знань – 14 «Електрична інженерія»  
Спеціальність – 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»  
Освітньо-професійна програма – Електроенергетика та електротехніка

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**Завідувач кафедри ЕСС**

д.т.н., професор Комар В. О.

  
«18» вересня 2023р.

**ЗАВДАННЯ**

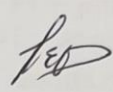
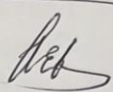
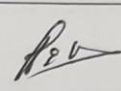
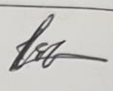
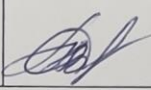

**НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Мазуру Івану Миколайовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи. «Релейний захист блока генератор-трансформатор з генератором ТВВ-1000»  
Керівник роботи к.т.н., проф., ст. професор кафедри ЕСС Рубаненко О.Є.  
затверджено наказом вищого навчального закладу від 18.09.2023 року № 247
2. Термін подання студентом роботи 11 грудня 2023 року
3. Вихідні дані до роботи: Перелік літературних джерел за тематикою роботи: 1. Кідиба В. П., Релейний захист електричних систем: підручник. Львів: «Львівська політехніка», 2015. 533 с.; 2. Яндутьський О. С., Дмитренко О. О., Релейний захист. Цифрові пристрої релейного захисту, автоматики та керування електроенергетичних систем : Навчальний посібник: Київ: НТУУ «КПІ», 2016. 102 с.; Посилання на періодичні видання.; 3. О. Є. Рубаненко, О. О. Рубаненко, І. О. Гунько Релейний захист та автоматика електричних станцій. М. ВНТУ, 2023. 123 с.  
Вихідні дані для проведення обчислювальних експериментів: трансформатор ТНЦ-1250000/330 потужністю 1250 МВА, номінальною напругою 330 кВ, турбогенератор ТВВ-1000 потужністю 1000 МВт, номінальною напругою 24 кВ, косинусом кута 0,9 коефіцієнт корисної дії 98,7%.
4. Зміст текстової частини: Вступ. 1. Аналіз турбогенераторів., 2. Захист турбогенераторів ТВВ-1000-4У3. 3. Розрахунок уставок релейного захисту блоку турбогенератор-трансформатор. 4. Особливості мікропроцесорних захистів. 5. Охорона праці. 6. Економіка. Висновки. Список використаних джерел. Додатки.
5. Перелік ілюстративного матеріалу 1. Вибір захистів для генератора 2. Вибір захистів для трансформатора. 3. Вибір захистів для ліній електропередач. 4. Розрахунок уставок пристроїв релейного захисту. Висновки

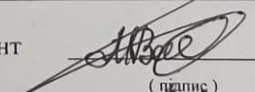
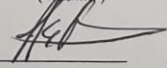
6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	виконання прийняв
Спеціальна частина	Керівник роботи Рубаненко О. Є., к.т.н., проф., професор кафедри ЕСС		
Охорона праці	Кобилянський О. В. д.п.н., проф., завідувач каф. КБЖПБ <i>Рубаненко О.Є.</i> Остра Н. В.		
Економічна частина	к.т.н., доц., доцент каф. ЕСС		

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_ вересня 2023 року  
КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Термін виконання		Очікувані результати
		початок	кінець	
1	Формування та затвердження теми МКР. Розроблення технічного завдання	01.09.2023	06.09.2023	формування технічного завдання
2	Вступ. Огляд літературних джерел	07.09.2023	12.09.2023	Аналітичний огляд літературних джерел задачі дослідження
3	Виконання аналітичної частини МКР (розділ 1 МКР)	13.09.2023	05.10.2023	розділ 1 ПЗ
4	Виконання теоретичної частини МКР (розділ 2 МКР)	06.10.2023	20.10.2023	розділ 2
5	Виконання практичної частини МКР (розділ 3 МКР)	21.10.2023	01.11.2023	розділ 3
6	Виконання розділу охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях (розділ 4 МКР)	02.11.2023	08.11.2023	розділ 4
7	Виконання економічної частини (розділ 5 МКР)	09.11.2023	15.11.2023	розділ 5
8	Формування висновків по роботі	16.11.2023	18.11.2023	висновки МКР
9	Оформлення пояснювальної записки	19.11.2023	26.11.2023	пояснювальна записка
10	Виконання графічної частини	27.11.2023	04.12.2023	плакати, презентації
11	Перевірка МКР на плагіат. Попередній захист МКР	05.12.2023	10.12.2023	Результат перевірки на плагіат, відгук керівника
12	Опонування МКР	11.12.2023	19.12.2023	Відгук опонента
	Захист МКР	II декада грудня		Доповідь та відповідь на запитання

Студент

  
(підпис)  


І. М. Мазур

Керівник роботи

О. Є. Рубаненко

(підпис)

## АНОТАЦІЯ

УДК 621.311

Мазур Іван Миколайович «Релейний захист блока генератор-трансформатор з генератором ТВВ 1000». Магістерська кваліфікаційна робота за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» Вінниця: ВНТУ, 2023.

На укр. мові. Бібліогр.: 23 назв; рис.: 13.

У магістерській кваліфікаційній роботі виконано розрахунки струмів замкнень при металічному замкненні на землю з частково заземленими і повністю незаземленими нейтраліями трансформаторів, побудовано комп'ютерну модель трифазної електричної мережі і розглянуті захисти ліній та виконано розрахунок уставок, запропоновано замінити існуючий релейний захист з електромеханічного на мікропроцесорний. У розділі охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях було проведено розрахунок параметрів пристрою захисту від перенапруг релейного захисту блоку генератор-трансформатор, розглянуто роботу стійкості релейного захисту в умовах дії іонізуючого випромінювання та електромагнітного імпульсу. Та в економічні частинні обґрунтували доцільність впровадження мікропроцесорного захисту.

Ключові слова: турбогенератор, блок генератор-трансформатор, розрахунок уставок, аналіз, захист в обмотці статора від коротких замикань, електромеханічний релейний захист, селективність

## ANNOTATION

Mazur Ivan Mykolayovych "Relay Protection of Generator-Transformer Unit with TVV 1000 Generator." Master's thesis in the specialty 141 "Electric Power Engineering, Electrical Engineering, and Electromechanics." Vinnytsia: VNTU, 2023. Total number of pages

In Ukrainian. Bibliography: 23 titles; figures: 13.

The master's thesis includes calculations of short-circuit currents in case of metallic grounding with partially grounded and fully ungrounded neutrals of transformers. A computer model of a three-phase electrical network is developed, line protections are considered, and settings are calculated. It is proposed to replace the existing electro-mechanical relay protection with a microprocessor-based one. In the section on labor protection and safety in emergency situations, calculations of parameters for protecting against overvoltages of the relay protection of the generator transformer block were performed. The stability of relay protection in the presence of ionizing radiation and electromagnetic pulse is discussed. The economic section justifies the feasibility of implementing microprocessor protection.

Keywords: turbogenerator, generator-transformer unit, setting calculations, analysis, stator winding protection against short circuits, electro-mechanical relay protection, selectivity.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 АНАЛІЗ ТУРБОГЕНЕРАТОРІВ .....	9
1.1 Класифікація турбогенераторів.....	9
1.2 Конструктивні особливості турбогенератора ТВВ-1000-4УЗ.....	13
1.3 Характеристики генератора ТВВ-1000-4УЗ .....	19
1.4 Система охолодження ТВВ-1000-4УЗ.....	19
Висновок до першого розділу .....	23
2 ЗАХИСТИ ТУРБОГЕНЕРАТОРА ТВВ-1000-4УЗ.....	24
2.1 Поздовжній електромеханічний диференційний захист генератора.....	25
2.2 Поперечний диференційний захист генератора .....	26
2.3 Захист від замикань на землю в обмотці статора генератора .....	28
2.4 Електромеханічний релейний захист генератора від зовнішніх симетричних коротких замикань .....	33
2.5 Дистанційний захист генератора від зовнішніх коротких замикань.....	34
2.6 Електромеханічний релейний захист генератора від несиметричних режимів .....	35
2.7 Електромеханічний релейний захист обмотки статора генератора від симетричних перенавантажень .....	37
2.8 Електромеханічний релейний захист генератора від замикань на землю в колах збудження .....	38
2.9 Захист від замикання на землю у двох місцях типу КЗР-2 .....	40
Висновок до другого розділу.....	43
3 РОЗРАХУНОК УСТАВОК РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ БЛОКА ТУРБОГЕНЕРАТОР-ТРАНСФОРМАТОР.....	44
3.1 Заступна схема блока .....	44
3.2 Початкові дані для розрахунку .....	45
3.3 Розрахунок струмів короткого замикання .....	46
3.4 Захист від багатозначних КЗ в обмотці статора та на його виводах.....	47

3.5	Захист від замикань на землю в обмотці статора .....	48
3.6	Захист обмотки статора від зовнішніх симетричних КЗ .....	48
3.7	Захист обмотки статора від зовнішніх несиметричних КЗ та симетричних перевантажень.....	50
3.8	Захист ротора від перевантаження струмом збудження.....	51
3.9	Захист обмотки статора від симетричних перевантажень.....	52
3.10	Додатковий захист ротора від перевантаження струмом збудження за його роботи з резервним збудником .....	35
3.11	Захист від асинхронного режиму у разі втрати збудження.....	35
3.12	Захист від підвищення напруги на затискачах турбогенератора та трансформатора .....	53
3.13	Захист від замикань на землю в одній точці кола ротора.....	54
3.14	Захист від усіх випадків КЗ в обмотках трансформатора, на його затискачах, ошинуванні високої напруги та міжфазних КЗ в обмотці статора турбогенератора.....	54
3.15	Захист від зовнішніх КЗ на землю в мережі з заземленими нейтралями .....	54
3.16	Захист від замикань всередині бака трансформатора .....	56
	Висновки до третього розділу .....	56
4	ОСОБЛИВОСТІ МІКРОПРОЦЕСОРНИХ ЗАХИСТІВ.....	57
4.1	Класифікація мікропроцесорних захистів.....	58
4.2	Недоліки мікропроцесорних захистів.....	59
4.3	Переваги мікропроцесорних захистів.....	60
4.4	Мікропроцесорний пристрій захисту блока генератор-трансформатор REG-670.....	62
4.5	Мікропроцесорний релейний пристрій захисту трансформатора RET670 .....	65
4.6	Мікропроцесорний релейний пристрій захисту ліній REL670 .....	68
	Висновки до четвертого розділу .....	71

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ .....	72
5.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкта .....	74
5.2 Розрахунок параметрів пристрою захисту від перенапруг релейного захисту блока генератор-трансформатор.....	78
5.3 Протипожежний захист приміщення релейного захисту блока генератор-трансформатор .....	80
5.4 Безпека у надзвичайних ситуаціях. Дослідження стійкості роботи блока релейного захисту в умовах дії загрозливих чинників .....	80
Висновок до п'ятого розділу .....	88
6 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА .....	89
6.1 Економічне оцінення ефективності реконструкції підстанцій .....	89
6.2 Економічне обґрунтування доцільності впровадження мікропроцесорних захистів .....	90
ВИСНОВКИ .....	95
ЛІТЕРАТУРА .....	98
ДОДАТКИ .....	101



## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

- РЗ – релейний захист;
- ДЗТ – поздовжній диференційний захист;
- КЗ – коротке замикання;
- РТФ – струмовий захист нульової послідовності;
- СЗР – система захисту реактора;
- РП – реле потужності;
- ТВВ – турбогенератор воднево-водяного охолодження;
- АПВ – автоматичне повторне вмикання;
- АВР – автоматичне введення резерву;
- ДЗ – дистанційний захист;
- МП – мікропроцесорний пристрій;
- МСЗ – максимальний струмовий захист;
- РЩБ – релейний щит блоку;
- СЗНП – струмовий захист нульової послідовності;
- МФСВ – міжфазна струмова відсічка;
- РЗА – релейний захист та автоматика;
- ПЗ – програмне забезпечення;
- СВ – струмова відсічка;
- СЗ – струмовий захист;
- ІЕП – інтелектуальний електричний пристрій;
- МСЗ – максимальний струмовий захист;
- ПРВВ – пристрій резервування відключень вимикачів;
- ЕМІ – електромагнітний імпульс.

## ВСТУП

За останнє десятиріччя в українській енергосистемі відбулося багато змін, завдяки технологічному прогресу удосконалено майже усі системи енергопостачання, трансформаторних підстанцій, зв'язку та технічне знаряддя обслуговуючого персоналу. Проте, не дивлячись на досягнення, деякі питання вирішені не повністю. Одним з таких питань є модернізація релейного захисту блока генератор-трансформатор.

Релейний захист відіграє ключову роль у забезпеченні безпеки, стабільності та надійності функціонування блока генератор-трансформатор, зокрема тих, що захищають потужні турбогенератори типу ТВВ-1000. Він забезпечує вчасне виявлення та усунення різноманітних пошкоджень, які можуть виникнути в роботі турбогенератора. Цей тип обладнання відповідає за захист генератора від перенавантажень, коротких замикань, перенапруг та інших небезпечних факторів. Наведений тип блока відіграє головну роль у генерації електричної потужності для енергосистеми України.

Однією із багатьох причин відключення та припинення генерації синхронних турбогенераторів є помилкове спрацювання релейного захисту, через що станція зазнає величезних збитків. Електромеханічний релейний захист в більшості випадків вичерпав свій робочий ресурс, із заміною відпрацьованих електромеханічних реле виникають труднощі, оскільки з країною-постачальником обірвались усі можливі зв'язки.

Відмова та помилкове спрацювання може призвести до величезних негативних наслідків. Основними причинами пошкодження електромеханічного реле вважаються: багатократність правильних спрацювань, вплив навколишнього середовища, знос основних елементів реле.

Внаслідок пошкоджень елементів захисту блока генератор-трансформатор підвищується ймовірність виходу з ладу основних елементів турбогенератора. Наслідками ненадійно працюючого захисту можуть бути: перенавантаження генератора, коротке замикання, нестабільна робота станції,

відключення турбогенератора в несподіваний момент, пошкодження трансформатора, комутаційних апаратів, матеріальні збитки та нараження обслуговуючого персоналу на небезпеку.

Практика показала, що для забезпечення нормальної та надійної роботи синхронних генераторів потрібні засоби релейного захисту та автоматики. Релейний захист (РЗ) є необхідною частиною системи, яка забезпечує автоматичне відключення та контроль роботи турбогенераторів у випадку аварій.

Коротке замикання (КЗ) може значно впливати на роботу турбогенератора ТВВ-1000. Наприклад, різке підвищення струму в обмотках генератора, підвищення температури генератора, механічне навантаження на вал турбогенератора сприяють створенню динамічних ударів та детонуванню легкозаймистих матеріалів.

Тому потрібно покращити захист блока турбогенератор-трансформатор.

Отже, тема магістерської кваліфікаційної роботи (МКР) «Захист блока генератор-трансформатор з генератором ТВВ-1000» є актуальною.

*Мета та завдання роботи.* Метою магістерської кваліфікаційної роботи є покращення захисту блока генератор-трансформатор.

Відповідно до вказаної мети в роботі розв'язуються такі *завдання*:

- розглянути конструктивні особливості турбогенератора ТВВ-1000;
- описати основні функції електромеханічного та мікропроцесорного захисту;
- дослідити елементи захисту турбогенератора ТВВ-1000-4УЗ;
- розрахувати уставки релейного захисту блока турбогенератор-трансформатор 1000МВт;
- дослідити параметри та переваги мікропроцесорного захисту блока генератор-трансформатор 1000 МВт;
- дослідити заходи з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях;

– розрахувати техніко–економічні показники заміни електромеханічного захисту блока генератор-трансформатор з генератором ТВВ-1000 на мікропроцесорний.

*Об'єктом дослідження* магістерської кваліфікаційної роботи є релейний захист блока генератор-трансформатор з турбогенератором потужністю 1000 МВт.

*Предметом дослідження* в магістерській кваліфікаційній роботі є методи розрахунків уставок спрацювання релейних захистів блока генератор-трансформатор.

*Новизна роботи* полягає у розгляді електромеханічних реле та сучасних мікропроцесорних захистів, переваг заміни електромеханічних релейних захистів на мікропроцесорні.

*Інноваційність* полягає у покращенні захисту блока генератор-трансформатор шляхом заміни електромеханічного захисту на мікропроцесорний. Відмінність отриманих результатів – в розрахунку уставок блока турбогенератор-трансформаторів з генератором ТВВ-100.

*Особистий внесок здобувача.* Магістерська кваліфікаційна робота є самостійно виконаною працею, в якій автором виконано розрахунок уставок захисту генератора ТВВ-1000

Публікації результатів магістерської кваліфікаційної роботи. Основні наукові результати опубліковані у тезах доповідей: – Рубаненко О. Є., Мазур І. М. Особливості сучасного релейного захисту турбогенераторів 1000 МВт: тези наук. – тех. конф. Вінниця 2024 р . С.1 - 4  
Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-feeem/all-feeem-2024/paper/view/19627/16248>

# 1 АНАЛІЗ ТУРБОГЕНЕРАТОРІВ

Особлива увага приділяється системам захисту турбогенераторів, що відіграють важливу роль у забезпеченні надійності та безпеки їх функціонування. Розглядаються принципи роботи різноманітних захисних систем, зокрема заходи, спрямовані на виявлення випадкових чи аварійних ситуацій, таких як замикання на землю, що можуть виникнути у процесі роботи генератора.

Аналіз турбогенераторів та їх захистів спрямований на визначення оптимальних стратегій для забезпечення ефективності, надійності й безпеки турбогенераторів та відображає сучасний підхід до управління й технічного обслуговування цих складних електротехнічних пристроїв.

## 1.1 Класифікація турбогенераторів

Конструкція турбогенераторів призначена для постійної генерації електроенергії в номінальному режимі роботи, коли вони безпосередньо з'єднуються з паровими або газовими турбінами. Турбогенератори встановлюються на теплових та атомних електростанціях.

Залежно від потужності турбогенератори можуть бути поділені на три основні категорії: малопотужні (2,5–32 МВт), середньопотужні (60–320 МВт) та високопотужні (понад 500 МВт).

Частота обертання може змінюватись залежно від конструкції турбогенератора. Є чотириполюсні турбогенератори (з частотою обертання 1500 та 1800 об/хв) та двополюсні (з частотою обертання 3000 та 3600 об/хв) відповідно до частоти мережі 50 Гц.

Залежно від типу приводу турбіни, турбогенератори поділяються на генератори, що обертаються паровою турбіною, та генератори з приводом від газової турбіни.

За системою охолодження турбогенератори можуть бути машинами з повітряним охолодженням, непрямим охолодженням воднем, безпосереднім охолодженням воднем та рідиною.

Залежно від системи збудження турбогенератори можуть бути обладнані статичною системою автозбудження, незалежною тристоронньою системою збудження або системою збудження без щіток.

Турбогенератори можна класифікувати за різними ознаками, такими як тип палива, потужність, конструкція, застосування тощо. Основні класифікаційні ознаки для турбогенераторів такі:

➤ **за типом палива:**

- турбогенератори, які працюють з котлами та турбінами на вугільних паливах, таких як кам'яне вугілля або буре вугілля;
- турбогенератори, які працюють з котлами та турбінами: на природному газі, синтетичний газ чи інший багатокomпонентний газ;
- турбогенератори: які працюють з котлами та турбінами на нафтопродуктах, таких як нафта або дизельне паливо;

➤ **за конструкцією:**

- одноступеневі (парові) турбогенератори: мають один турбінний вал та генераторний вал;
- багатоступеневі (парові) турбогенератори: складаються з кількох турбінних валів, що збільшують ефективність та потужність;
- турбогенератори: використовують газову турбіну, яка працює на газовому паливі;

➤ **за застосуванням:**

- промислові турбогенератори: встановлюються на великих промислових підприємствах для забезпечення їхніх потреб;
- енергетичні турбогенератори: використовуються в електростанціях для виробництва електроенергії.

➤ **за технологією охолодження:**

- водяне охолодження: турбогенератор охолоджується водою;
- повітряне охолодження: охолоджується навколишнім повітрям чи вентиляційним;

➤ *за типом турбіни:*

- парова турбіна: використовує пару як робоче середовище;
- газова турбіна: використовує стиснений газ як робоче середовище.

Найпоширенішими генераторами, є такі, які працюють в складі електроенергетичних систем більшості країн світу.

Генератори серії *T* з використанням повітряного охолодження розроблені для ефективного виробництва електроенергії у тривалому номінальному режимі за умови підключення безпосередньо до парових або газових турбін. Вони доступні у різних потужностях, таких як 2,5; 4; 6; 12 та 20 МВт. Генератори потужністю від 2,5 до 12 МВт використовують систему непрямого повітряного охолодження активних складових, тоді як генератори потужністю 20 МВт мають систему прямого повітряного охолодження обмотки ротора та непряму систему охолодження інших активних компонентів.

Турбогенератори потужністю від 2,5 до 12 МВт розміщені на фундаментних плитах із однією стояковою ізольованою підшипниковою опорою та одним вільним кінцевим валом. Турбогенератор типу Т-20-2 має дві стоякові підшипникові опори.

Всі ці турбогенератори мають закриту конструкцію, яка забезпечує систему автономної вентиляції у замкнутому циклі. Наприклад, машини типу Т-2,5-2, Т-4-2, Т-6-2, Т-12-2 обладнані горизонтальними газоохолоджувачами, розташованими по обидва боки статора на фундаментній плиті. Турбогенератор типу Т-20-2 використовує шість вертикально розташованих газоохолоджувачів, які мають амортизаційні підвіски.

Турбогенератори з повним водяним охолодженням ТЗВ є частиною виробничого об'єднання «Електросила». Серійно виробляються моделі, такі як ТЗВ-800-2УЗ, з потужністю 800 МВт та швидкістю обертання 3000 обертів на

хвилину. У турбогенераторі ТЗВ-800-2 обмотки статора та ротора охолоджуються безпосередньо водою, яка циркулює по каналах трубчастих мідних провідників. Активна сталь осердя статора охолоджується охолоджувачами зі сплаву силумін, вставленими між пакетами. Сталь ротора та повітря, що заповнює генератор, переважно охолоджуються водоохолоджуваною демпферною обмоткою ротора.

У серію ТГВ входять турбогенератори з потужністю 200, 300 та 500 МВт. Корпус статора цих генераторів є циліндричним, зварним та герметичним для газу. Турбогенератори потужністю 200 і 300 МВт виготовлені у вигляді однокорпусних машин. А корпус статора генератора потужністю 500 МВт складається з трьох частин – центральної та двох приєднаних з переднього боку коробів. Корпус статора наповнений воднем під тиском.

Серцевина статора складається з поздовжніх призм. Для зменшення вібрації внутрішній корпус встановлюється в корпусі статора на пластинчастих пружинах, розташованих у кілька рядів по всій довжині машини. Осердя складається із окремих пакетів, розділених кільцевими радіальними каналами.

У серію ТВМ входять турбогенератори потужністю 300 та 500 МВт. Вони мають охолодження обмотки і серцевини статора оливою та водяне охолодження ротора.

Турбогенератори серії ТВФ відзначаються потужністю від 63 до 100 МВт, а також їхня основна відмінність полягає у використанні безпосереднього примусового охолодження обмотки ротора воднем та опосередкованого охолодження обмотки статора також воднем.

Серія ТВВ охоплює турбогенератори потужністю від 160 до 1200 МВт, які працюють на швидкості 3000 обертів на хвилину та турбогенератори потужністю 1000 МВт, які працюють на швидкості 1500 обертів на хвилину. Особливість цієї серії полягає у безпосередньому охолодженні обмотки статора дистильованою водою, безпосередньому примусовому охолодженні



обмотки ротора воднем, а також охолодженні зовнішньої поверхні ротора та сердечника статора воднем.

## 1.2 Конструктивні особливості турбогенератора ТВВ-1000-4УЗ

Генератор ТВВ-1000 (Турбогенератор воднево-водяного охолодження 1000 МВт) є одним з видів обладнання атомних електростанцій (АЕС), що працюють на базі реакторів типу ВВЕР-1000 (водно-водяні енергетичні реактори 1000 МВт), розроблених в Радянському Союзі і використовуваних в різних країнах. Давайте розглянемо основні характеристики генератора ТВВ-1000.

Тип генератора ТВВ-1000 – це синхронний генератор, який генерує змінну напругу. Такі генератори мають номінальну потужність 1000 МВт – 1 ГВт, що робить їх придатними для великих атомних електростанцій.

Принцип їх роботи базується на тому, що агрегат приводиться в рух турбіною, яка працює на високотемпературній парі, створюваній парогенератором. Парогенератор або котел перетворює теплову енергію з ядерного реактора на пару, яка потім використовується для обертання турбіни. Обертання турбіни передається генератору через ротор, і це призводить до індукції змінного потоку в статорі генератора. Цей процес описує перетворення механічної енергії, створюваної турбіною крутного реактора ВВЕР-1000, на електричну енергію змінного потоку.

Можна описати його технічні характеристики. Турбогенератор ТВВ-1000 зазвичай має складну конструкцію, до складу якої входять ротор, статор, обмотки та інші компоненти для ефективного вироблення електроенергії. Де генерація напруги та відповідність частоти вказують, що генератор ТВВ-1000 генерує змінну напругу стандартного значення, яке відповідає вимогам електричної мережі країни, де знаходиться АЕС. У більшості випадків це напруга 330 кВ або 750 кВ за частоти 50 Гц.

Важливим фактором роботи цього пристрою є синхронізація, тобто генератор ТВВ-1000 синхронізується з частотою електричної мережі і

підтримує стабільну напругу та частоту змінного потоку, що важливо для надійності енергосистеми.

Генератори на АЕС, ТВВ-1000-4УЗ, обладнані надійною системою безпеки, щоб запобігти можливим аварійним ситуаціям та мінімізувати ризики у разі позаштатних ситуацій.

Генератори ТВВ-1000 і реактори ВВЕР-1000 широко розповсюджені в різних країнах і продовжують слугувати джерелом надійної і стабільної електроенергії. Вони були створені з урахуванням високих стандартів безпеки та ефективності, що робить їх важливими компонентами ядерної енергетики.

Особливості найменування цього генератора вказують на такі умовні позначення:

Т – турбогенератор;

ВВ – воднево-водяне охолодження;

1000 – номінальна активна потужність, що подається генератором в мережу, МВт;

4 – кількість полюсів (для  $f = 50$  Гц,  $n = 1500$  об / хв) ;

У – кліматична модифікація генератора для помірних кліматів;

З – для розміщення в закритих приміщеннях, де коливання температури і вологість, а також вплив пилу менші за зовнішні та температура середовища коливається в межах від +5 до +40 °С. Середовище не вибухонебезпечне, запиленість в повітрі, за вимогами МОЗ, не може перевищувати 0,1 мг/м<sup>3</sup>.

Трифазний чотириполюсний синхронний турбогенератор ТВВ-1000-4УЗ призначений для вироблення електроенергії в безперервному номінальному режимі роботи за безпосереднього підключення до парової турбіни типу К-1000-60/1500-2, яка є приводом генератора і встановлена всередині приміщень на атомних і теплових електростанціях.

## Розглянемо конструктивні особливості генератора ТВВ-1000-4УЗ

(рис. 1.1)

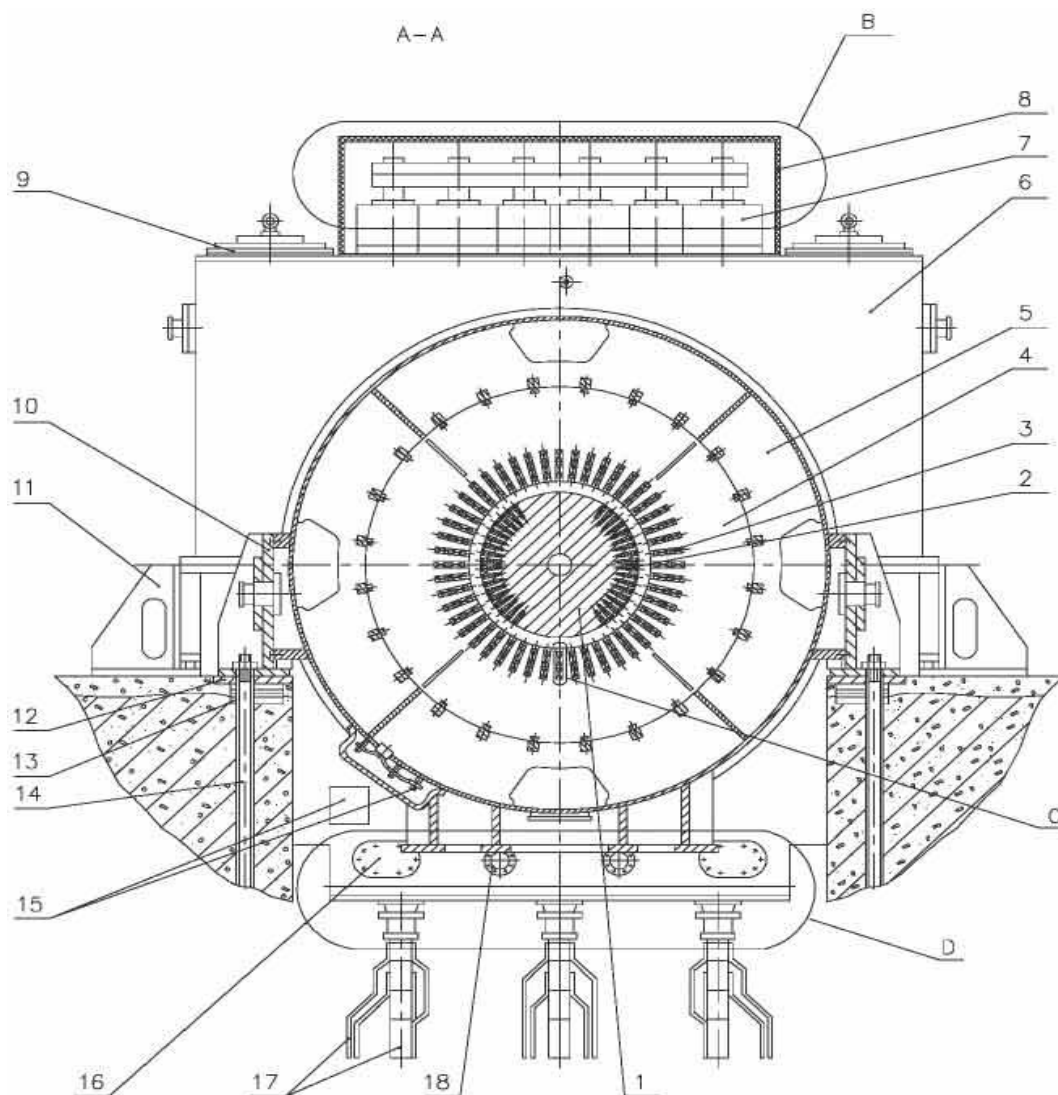


Рисунок 1.1. – Поперечний розріз турбогенератора ТВВ-1000-4УЗ

Складові турбогенератора (див. рис. 1.1):

- 1 – Ротор;
- 2 – Обмотка ротора;
- 3 – Обмотка статора;
- 4 – Осердя статора;
- 5 – Корпус статора, центральна частина;
- 6 – Корпус статора, кінцева частина;
- 7 – Виводи та трансформатори нейтралі;
8. – Кожух нейтралі виводів;
- 9 – Газоохолоджувач;
- 10 – Рим-лапа центральної частини статора;
- 11 – Рим-лапа кінцевої частини статора;
- 12 – фундаметні плити;

- 13 – Закладні частини фундаментних плит;
- 14 – фундаментні шпильки
- 15 – виведення термоперетворювачів;
- 16 – кришка лаза;
- 17 – гнучкі перемички лінійних виводів;
- 18 – водопідведення до обмотки статора.

Корпус статора складається з трьох частин: центральної циліндричної та двох кінцевих прямокутної форми, які мають роз'єм у горизонтальному перерізі. У середній частині закріплено серцевину статора. Кінцеві частини закривають фасадні частини статора обмотки. У середині корпусу встановлюються кільцеві перегородки жорсткості, які виконують функцію як закріплення серцевини, так і рівномірного розподілу потоків холодного та гарячого повітря по всій довжині статора, який охолоджується газоохолоджувачами, вбудованими вертикально в кінцевих частинах корпусу статора. Для підняття та встановлення корпусу на фундамент з боків статора встановлюються рим-лапи, які знімаються під час транспортування.

Осердя статора складається з ребер, виготовлених із сегментів холоднокатаної електротехнічної сталі з малими втратами, і вздовж осі поділена вентиляційними каналами на пакети. Поверхня сегментів покрита ізоляційним лаком. Ребра серцевини статора припаяні до поперечних кілець корпусу. Спресована серцевина статора стягується натискними кільцями із немагнітної сталі. Зубчаста зона крайніх пакетів ущільнена натискними пальцями із немагнітної сталі. Для демпфування розсіюваних потоків під натискними кільцями встановлено мідні екрани та магнітні шунти, що складаються з двох пакетів із електротехнічної сталі. Пакети шунта та крайні пакети серцевини перед збіркою в корпусі передбачувано склеюються та запікаються, що забезпечує жорсткість та монолітність конструкції серцевини. Зубці крайніх пакетів серцевини та шунтів виконано з глибокими радіальними шпицями. Пази для обмотки статора є відкритими прямокутними. Обмотка статора є трифазною, двошаровою, зі скороченим кроком, жердневою, з транспозицією елементарних провідників. Фасадні частини обмотки мають

форму кошика. Елементи обмотки складаються з однорідних та порожнистих елементарних провідників.

У пазах закріплюються спеціальними прокладками та клинами. У двох пазах клини мають гумові вставки, які утворюють подовжні перегородки у повітряному проміжку. Для охолодження обмотки по порожнистих провідниках проходить дистильована вода. Ізоляція жердин є постійною, термореактивною, типу слюдотерм. На кінцях жердин припаяні мідні наконечники для подачі води до порожнистих провідників та електричного з'єднання жердин, яке здійснюється мідними хомутами та клинами з подальшим паянням. Фасадні частини обмотки закріплені за допомогою масивних склотекстолитових кронштейнів та кілець, стягнутих шпильками. Монолітність фасадних частин забезпечують формувальні матеріали та клеї з подальшим запіканням. Для постійної жорсткості кріплення фасадних частин до натискного кільця між кронштейнами, що підтримують фасадні частини, встановлено клинці, розтягуюча сила яких залишається постійною за всіх теплових переміщень обмотки за допомогою пружин. З'єднання між жердинами верхнього і нижнього ряду головки мають розкид у тангенціальному напрямку за допомогою складних клинів. Для подачі та відведення охолоджувального дистилату з обмотки статора є кільцеві колектори, встановлені на кронштейнах із ізоляційного матеріалу та з'єднані з жердинами обмотки шлангами із фторопласту. Охолоджувальний дистилат входить зі сторони збудника і проходить в обмотці паралельно всім жердинам. Виводи та шини мають послідовне з'єднання з жердинами за дистилатом.

Ротор виготовляється із спеціальної сталі, яка забезпечує його механічну міцність за допустимих режимів роботи генератора. У барильці ротора фрезеруються пази, в які вкладається обмотка збудження, виготовлена з смугастої міді з додаванням срібла для підвищення міцності. Пазова частина обмотки вздовж своєї довжини поділена на секції для виходу та входу газу з однаковою кількістю отворів у кожній секції, тому температура обмотки практично завжди рівномірна по всій довжині ротора. Клинні, що утримують

обмотку в пазу, мають вхідні та вихідні отвори для охолоджувального газу, які збігаються з внутрішніми каналами у провідниках котушок. Пазова та виткова ізоляція котушок виконані з пресованої склотканини на теплостійкому пакеті.

Струм в обмотці ротора подається за допомогою ізольованих гнучких шин та ізольованих болтів, з'єднаних із стрижнем, розташованим у центральному отворі ротора. Болти для забезпечення газонепроникності ротора мають ущільнення у вигляді сальників. Стержні струмової подачі генератора з'єднані із стрижнями струмоподачі збудження за допомогою спеціальних мідних клинів. Ободові кільця, які утримують фасадні частини обмотки, є одно посадковими, виготовлені із спеціальної немагнітної сталі, мають гарячу посадку на барилку ротора. Від осьових переміщень ободові кільця утримуються гайками. Фасадні частини обмотки ротора ізольовані від ободів і центрувальних кілець склотекстолітовими сегментами. Для запобігання пошкодження торців ротора від впливу струмів зворотної послідовності під ободовими кільцями встановлено короткозамкнуті кільця у вигляді двошарових мідних сегментів. Зубці сегментів входять до обмоткових та спеціальних пазів, фрезерованих у великих зубцях ротора, і ущільнюються клинцями. Опорний підшипник зі сторони збудження є стоякового типу і має кульковий накладний вкладиш. Змащення підшипника виконується примусовим способом з масляної системи турбіни. Масло подається через резервуар аварійного змащення, який встановлено на підшипнику. Конструкція підшипника передбачає встановлення гідропідйому вала. Для усунення струмів підшипника слугує ізоляція підшипника від фундаменту та всіх маслопроводів. Ущільнення вала – кільцевого типу, які запобігають викиданню водню з корпусу, що встановлюються на зовнішніх щитах. Регулятори перепаду тиску масла в системі маслопостачання забезпечують необхідні перепади між тиском водню в корпусі та ущільнювальним маслом. Ущільнення вала ізольовано від зовнішнього щита та всіх маслопроводів. Вентиляція турбогенератора здійснюється за замкнутим циклом. Водень охолоджується газоохолоджувачами. Циркуляцію водню по статору та ротору

забезпечують двома центрифугальними вентиляторами, встановленими на валу ротора. Тепловий контроль всіх основних вузлів турбогенератора здійснюється термометрами, підключеними до контрольних пристроїв, які забезпечують неперервний автоматичний контроль температури, реєструють її та сигналізують у разі відхилень від заданих параметрів. Фундаментні плити слугують основою генератора і виготовлені зі сталевих листів. Вони встановлюються під час монтажу на закладні частини та постійні підкладки, а потім заливаються бетоном. Для кріплення генератора до фундаменту використовують фундаментні шпильки. За допомогою ланцюга для зменшення рівня шуму збудник та підшипник генератора захищаються спеціальною шумозахисною оболонкою.

### 1.3 Характеристики генератора ТВВ-1000-4УЗ

Розглянемо технічні характеристики генератора ТВВ-1000-4УЗ (табл. 1.1).

Таблиця 1 1. – Технічні відомості турбогенератора ТВВ-1000-4УЗ

Повна потужність кВА	1111000
Активна потужність, кВт	10000000
Напруга, В	24000
Струм статора, А	26730
Струм ротора, А	70000
Напруга ротора, В	435
Статична перенавантаження	1,54
Частота, Гц	50
Частота обертання, хв	15000
З'єднання фаз обмотки статора	Подвійна зірка
Критична частота обертання, об/хв	1170
ККД, %	98,7
Коефіцієнт потужності	0,9

#### 1.4 Система охолодження ТВВ-1000-4УЗ

Особливістю цього генератора вважається використання водню як середовища для охолодження генератора (рис. 1.2).

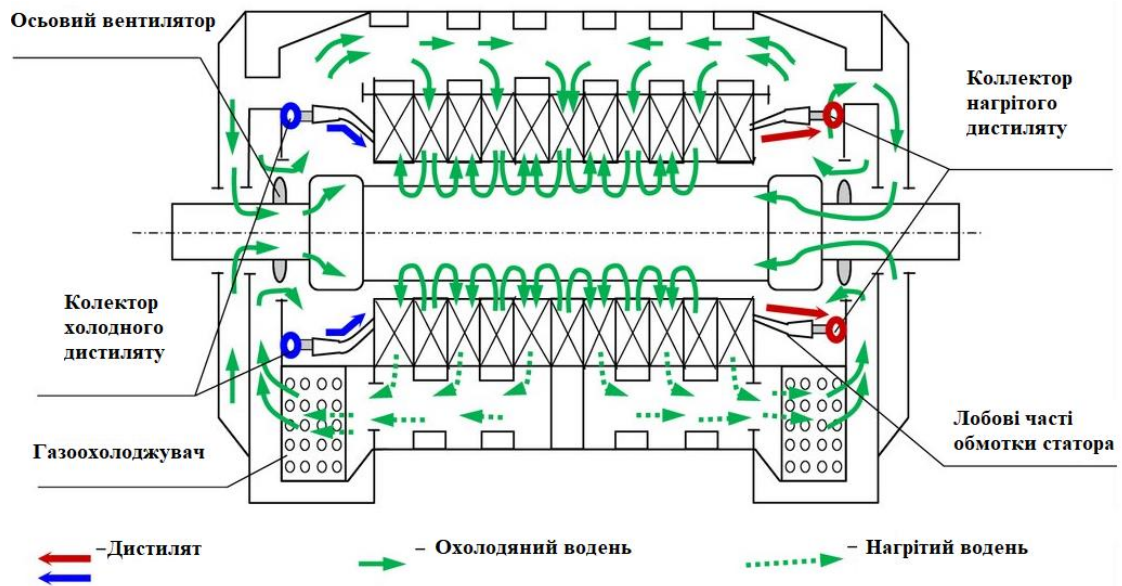


Рисунок 1.2 – Загальна схема вентиляції системи охолодження ТВВ-1000-4УЗ

Водень є ідеальним теплоносієм, має високу теплопровідність і малу густину, що робить його ідеальним елементом для високоефективного охолодження за високих температур, які виникають під час тривалої роботи турбогенератора, та дозволяє підтримувати оптимальну робочу температуру в генераторі, що є важливим для продуктивності та тривалості його роботи. До того ж, воднем охолоджуються додатково такі частини як: внутрішня та зовнішня поверхні ротора, серцевина статора, що забезпечить беззаперечну роботу машини навіть за високих навантажень.

Схему водневого охолодження турбогенератора подано на рисунку (1.3)



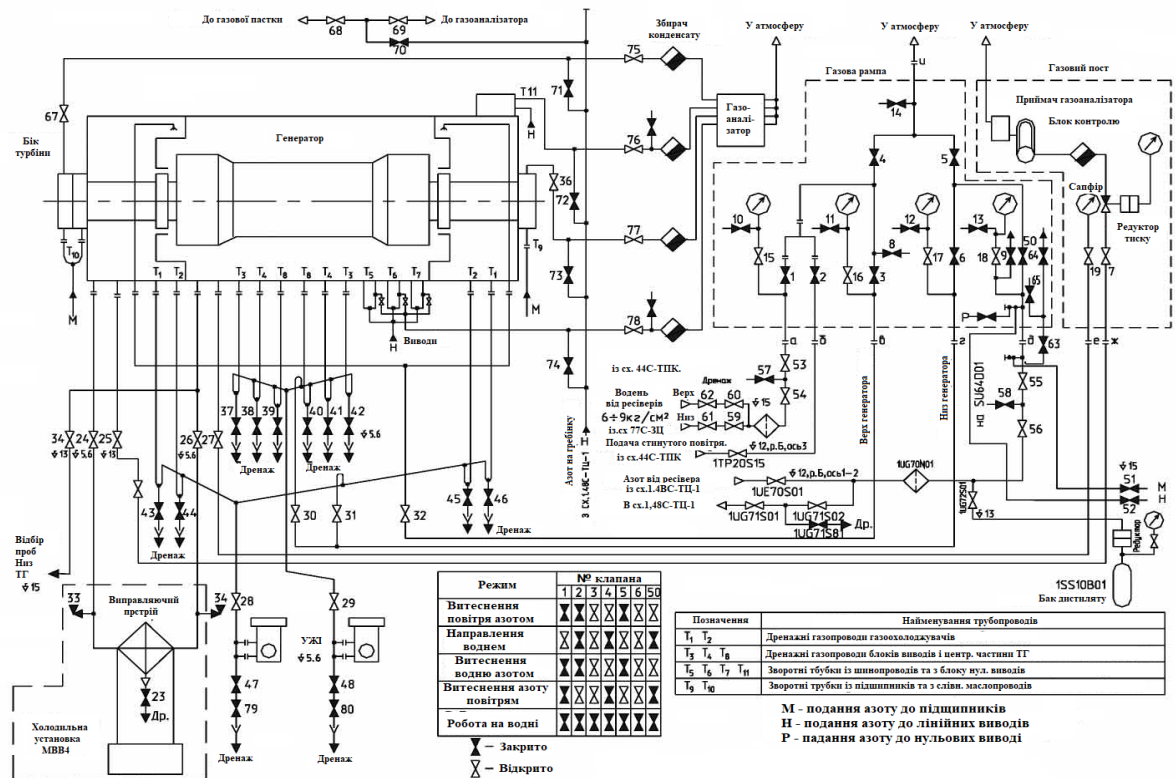


Рисунок 1.3 – Схема водневого охолодження турбогенератора ТВВ-1000-4УЗ

Ця система забезпечує ймовірність заповнення генератора воднем, азотом та повітрям, також поповнення втрат водню, неприпустимих під час експлуатації генератора.

Для безпечного поповнення генератора воднем та його видалення перед подачею повітря використанням азоту як проміжного середовища гідроген або повітря вводяться в корпус генератора через два колектори, розташовані в його верхній частині. Азот вводиться в корпус генератора через два нижні колектори.

В нижній частині азотних колекторів приєднуються трубопроводи для відведення рідини (води або оливи) у разі її потраплення в корпус генератора та в коробку виводів. У цьому випадку за допомогою вказівників рідини УЖ1 і УЖ2, розміщених у нижній точці дренажних трубопроводів, на блок сигналізації та управління (БЩУ) подається сигнал і активується світлова панель «Рідина в корпусі генератора» на пункті управління № 41.

Для визначення місць потрапляння рідини на дренажний трубопровід з камер газохолоджувачів та коробки виводів цієї петльової кишені з дренажними вентилями.

Колектори для води та азоту генератора з'єднуються трубопроводами з газовою рампою. До газової рампи також підводяться трубопроводи від центральних станційних магістралей водню, азоту та повітря. З газової рампи газ подається в корпус генератора як під час перехідних режимів, так і під час його нормальної роботи (подача воднем). Трубопроводи для випуску води та азоту з генератора в атмосферу з'єднуються із загальною випускною трубою.

На водній магістралі після резервуарів перед клапаном 1 і на повітряній магістралі після клапана 2, відповідно до вимог техніки безпеки, передбачено знімну перемичку для створення видимого розриву на трубопроводі. На газовій рампі розташовано клапани, якими керує оперативний персонал ЕЦ під час подачі або заміни газу в корпусі генератора, а також манометри, які дозволяють контролювати тиск газу в корпусі генератора та водню, азоту та повітря в магістралі. Для висушування води в корпусі генератора використовується метод охолодження із застосуванням холодильної установки MBV4.

### Висновки до першого розділу

1. Розділ присвячено розгляду класифікацій та конструктивних особливостей синхронних турбогенераторів. Особлива увага приділена турбогенератору ТВВ-1000-4У3; розглядаються основні технічні характеристики та конструктивні особливості цього обладнання.

2. Генератор має велику потужність, 1111000 кВА, і високу ефективність, визначену коефіцієнтом потужності 0,9 та ККД 98,7%. Конструктивно до його складу входять ротор, статор, обмотки, комутаційна система та інші компоненти, кожен з яких має свої функції та особливості.

3. Турбогенератор розроблено з урахуванням компактності та високоефективного використання простору. Його конструкція дозволяє

вміщувати велику кількість елементів у компактному корпусі, за рахунок чого зменшується габаритний розмір, що дозволяє акцентувати увагу на покращенні теплових характеристик, оскільки менше енергії витрачається на охолодження генератора.

## 2 ЗАХИСТИ ТУРБОГЕНЕРАТОРА ТВВ-1000-4УЗ

Релейний захист для генератора ТВВ-1000-4УЗ – це насамперед забезпечення надійності та безпеки.

У сучасних умовах використання генераторів, зокрема генератора ТВВ-1000-4УЗ, є критичними компонентами для надійності енергетичних систем. Для забезпечення надійності та безпеки роботи генератора використовується релейний захист, який відіграє ключову роль в системі захисту генератора. Розглянемо основні вимоги до релейного захисту для генератора ТВВ-1000-4УЗ.

По-перше, релейний захист має бути надійним і швидким у спрацюванні. Його завдання – реагувати на будь-які небезпечні стани, такі як короткі замикання, перенапруги, перевищення струмів, перегрів тощо.

Друга важлива вимога – можливість налаштувати релейний захист під конкретні режими роботи генератора, враховуючи його потужність, напругу та інші параметри.

Релейний захист також має забезпечувати захист від перенапруги та аварійного зменшення напруги, щоб уникнути пошкодження обмоток та ізоляції.

Захист від перевищення струмів та перегріву обов'язково має бути реалізований у релейному захисті. Це дозволить уникнути пошкодження обладнання та забезпечити безпеку роботи.

Релейний захист також контролює навантаження генератора та вимикає його, якщо навантаження перевищує допустимі межі.

Надійність та стійкість до зовнішніх впливів, таких як електромагнітні перешкоди та впливи, вологість та інші – ще одні важливі вимоги до релейного захисту.

Загалом, релейний захист відіграє ключову роль у забезпеченні надійності та безпеки експлуатації генератора ТВВ-1000-4УЗ. Його задача

попереджати про можливі пошкодження генератора, які можуть призвести до аварій та пошкоджень обладнання.

Розглянемо пристрій електромеханічного релейного захисту блока генератор-трансформатор-лінія із турбогенератором ТВВ-1000-4УЗ. До блока можуть бути підключені різні пристрої захисту.

## 2.1 Поздовжній електромеханічний диференційний захист генератора

Поздовжній диференційний захист є ефективним засобом захисту генератора від міжфазних коротких замикань в обмотці статора. Для потужних генераторів, які мають потужність від 160 МВт і більше, вибирається трифазний трирелейний поздовжній диференційний захист.

Для таких генераторів традиційно вибирають реле серії РНТ або ДЗТ з проміжними швидконасихувальними трансформаторами для ефективної реалізації захисту.

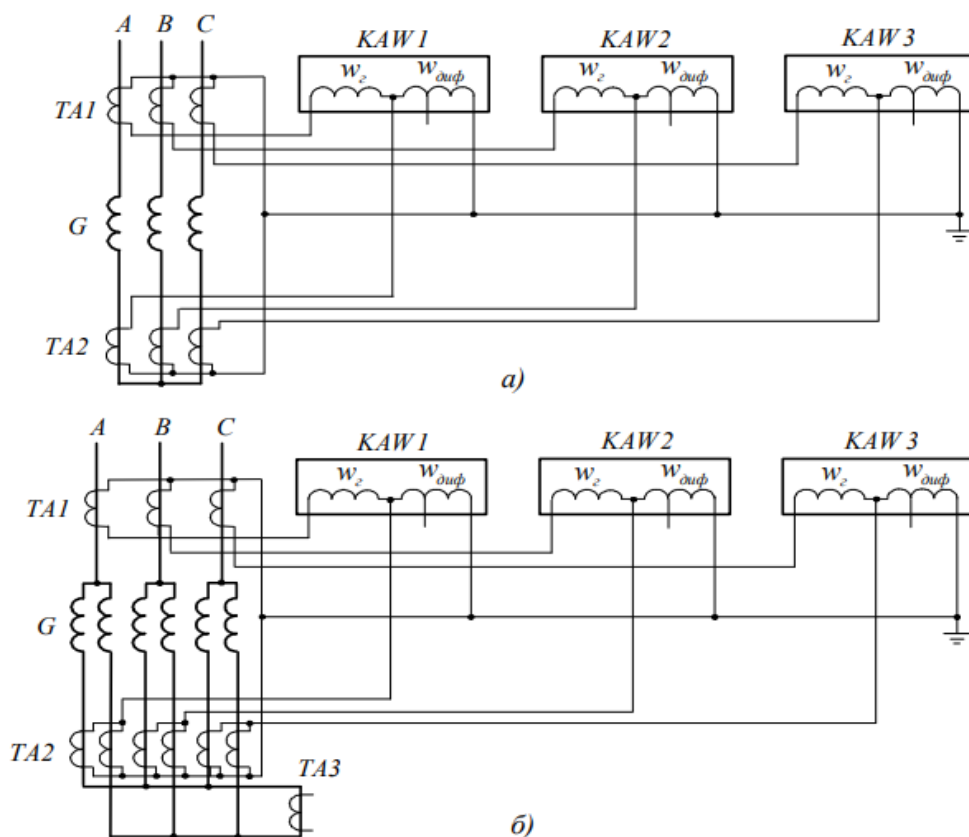


Рисунок 2.1 – Схеми поздовжнього диференційного захисту ДЗТ-11/5

Реле ДЗТ-11/5, зазначене для прикладу, має робочу обмотку з 144 витками та гальмівну обмотку з максимальною кількістю витків. Організація поздовжнього диференційного захисту забезпечує використання трансформаторів струму, розміщених у лінійних виводах (ТА1) та біля нульових виводів (ТА2) генератора. Для генераторів типу ТВВ з паралельними виводами обмотки статора вибирають трансформатори струму, встановлені в кожній вітці біля нульових виводів генератора, а їх вторинні обмотки з'єднують паралельно (див. рис. 2.1).

Вибір уставок спрацювання поздовжнього диференційного захисту зводять до розрахунку кількості витків гальмівної обмотки, які визначають за умови відведення від найбільшого струму небалансу за зовнішнього КЗ або асинхронного ходу генератора.

Ці заходи спрямовані на надійний та ефективний захист генератора від міжфазних коротких замикань, які можуть виникнути в обмотці його статора.

## 2.2 Поперечний диференційний захист генератора

Для захисту генератора від вітрових замикань в обмотці статора використовується поперечний диференційний захист, спрямований на аварійне вимкнення генератора від мережі. Цей вид захисту призначений для генераторів з паралельними обмотками статора, його принципову схему наведено на рисунку 2.2.

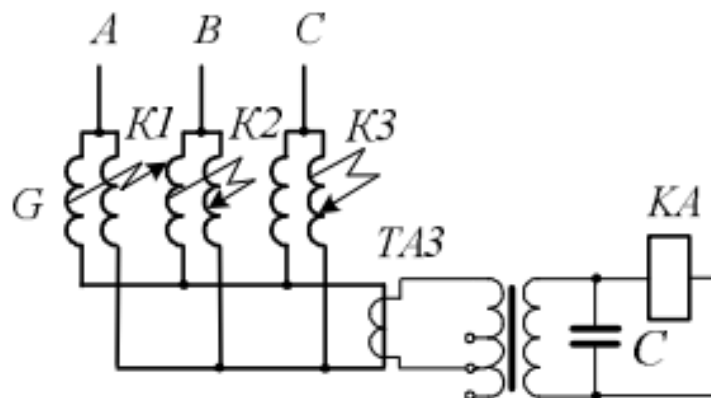


Рисунок 2.2 – Схема поперечного диференційного захисту

Вимірний орган захисту являє собою фільтр реле типу РТ-40/Ф, який з'єднаний з трансформатором струму ТА3. Цей трансформатор встановлено в перемичці, з'єднаний з двома нейтраліями обмоток статора. Складові вимірного органу захисту – це проміжний трансформатор струму ТАЛ, фільтр С та реле струму КА.

Поперечний диференційний захист обмотки статора генератора реагує на замикання між витками однієї вітки (точка К3), на замикання між витками однієї фази (точка К2) та на замикання між витками різних фаз (точка К1). Порушення балансу струмів у вітках обмотки статора генератора є причиною того, що через перемичку, що з'єднує нейтралі паралельних обмоток статора, протікає струм.

Для уникнення хибної роботи захисту з причини вмісту гармонійних складових не промислової частоти та струмів нульової послідовності у струмі статора, у вимірному органі передбачено фільтр. Цей фільтр узгоджується з частотою вхідного сигналу, забезпечуючи переважання основної частоти струму над гармонічними складовими. Важливим елементом є проміжний трансформатор ТАЛ, який має реалізувати чотири різні варіанти уставок спрацювання реле в межах від 1,75 до 17,6 А. Це дозволяє захистити генератори різної потужності.

Уставку спрацювання захисту вибирають з умов відведення від максимального струму небалансу зовнішнього трифазного короткого замикання. Після визначення струму спрацювання захисту виконується його випробування на реальному генераторі для уточнення результатів.

На рисунку 2.3 подано залежності уставок для різних струмів вимірних органів захисту (в.о.). Вибрану уставку струму спрацювання реле встановлюють на реле струму захисту КА відповідно до отриманих результатів.

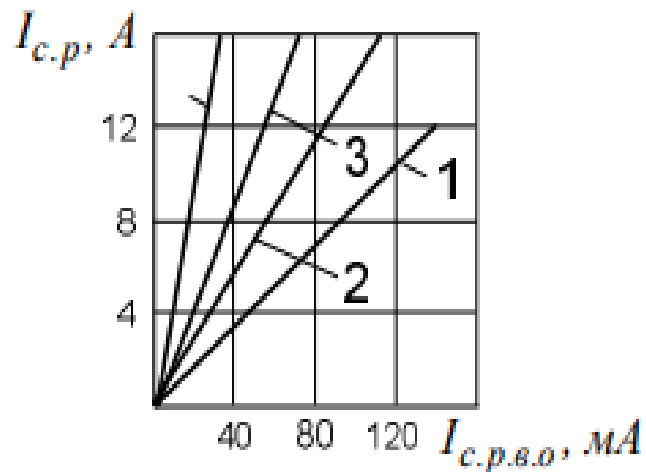


Рисунок 2.3 – Залежності струмів спрацювання реле РТ-40/Ф

### 2.3 Захист від замикань на землю в обмотці статора генератора

Оскільки потужні генератори на електростанціях працюють з ізолюваною нейтраллю, створення чутливого та селективного захисту, який реагував би на такі незначні струми замикання, практично неможливо. Захист від замикання на землю в обмотці статора генератора вмикається лише тоді, коли струм замикання на землю досягає чи перевищує рівень 5 ампер, в цьому випадку захист забезпечує аварійне вимкнення генератора від системи.

Наведемо схему підключень вимірних органів захисту від однофазних замикань на землю.

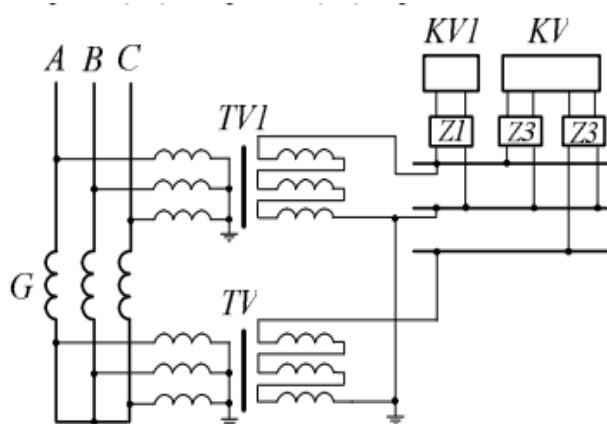


Рисунок 2.4 – Схема приєднання органів захисту від однофазних замикань на землю обмотки статора генератора.



Зазвичай захист від замикання на землю в обмотці статора генератора як в Україні, так і за кордоном базується на аналізі напруги обмотки статора. Цей захист призначений для забезпечення чутливості до замикання на землю в будь-якій точці обмотки статора.

Захист містить два важливих вимірювальних органи:

- 1.) Орган максимальної напруги нульової послідовності основної частоти захищає частину витків (85–95%) обмотки статора зі сторони лінійних виводів. Вимірювальний орган KV1 захисту, з'єднаний з трансформатором напруги TV1, встановленим на лінійних виводах. Це реле реагує на значення напруги нульової послідовності основної частоти.
- 2.) Орган напруги третьої гармоніки захищає частину обмотки статора (до 30%) зі сторони нейтралі та саму нейтраль. Вимірювальний орган KV2 з'єднаний з трансформатором напруги TV2, встановленим в нейтралі. Це реле реагує на наявність напруги третьої гармоніки.

Органи захисту приєднано до трансформаторів напруги через фільтри Z1 і Z3 для першої та третьої гармонік, відповідно. Це забезпечує відсіювання вищих гармонік і фільтрування сигналів для більш точного вимірювання.

Такий подвійний захист забезпечує ефективний контроль цих напруг в обмотці статора генератора, забезпечуючи вчасне виявлення та вимкнення генератора в разі замикання на землю.

На рис. 2.5 наведено розрахункову схему однієї фази обмотки статора та епюри напруги третьої гармоніки між фазою та землею.

Епюра напруги – це розподіл напруги вздовж фази обмотки статора відносно землі. На рисунку використано такі позначення:  $C_G$  – еквівалентна ємність фази генератора відносно землі;  $C_T$  – ємність відносно землі обмотки низької напруги блочного трансформатора та ошиновки між генератором та трансформатором;  $R_n$  – перехідний опір в місці замикання;  $\dot{E}_3$  – ЕРС третьої

гармоніки обмотки генератора (однієї фази);  $\dot{U}_H$ ,  $\dot{U}_L$ , – напруги третьої гармоніки відповідно в нейтралі та на лінійних виводах генератора.

За нормального режиму

$$\dot{U}_H = \frac{\dot{E}_3}{2} + \dot{U}_{C_r}, \quad \dot{U}_L = \frac{\dot{E}_3}{2} + \dot{U}_{C_r}$$

(рис 2.5, б).

Враховуючи, що за нормального режиму  $\dot{U}_{C_r} \approx 0$ , напруга нейтралі

$$\dot{U}_H = \frac{\dot{E}_3}{2},$$

а на лінійних виводах

$$\dot{U}_L = -\frac{\dot{E}_3}{2}.$$

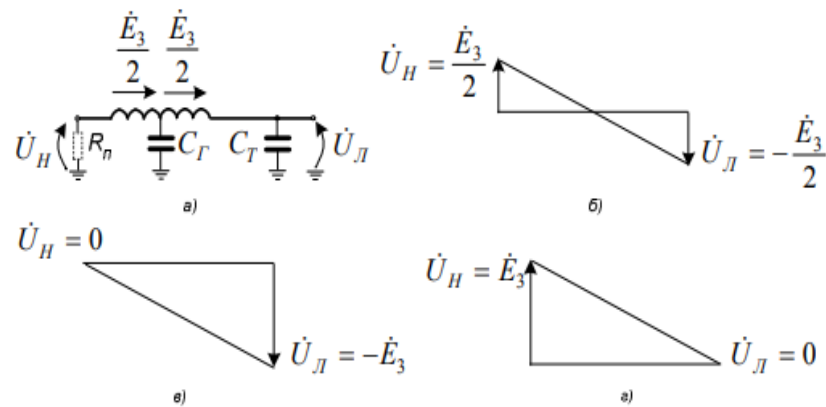


Рисунок 2.5 – Розподіл напруги третьої гармоніки в обмотці статора генератора:

- а) розрахункова схема; б) розподіл напруги за нормального режиму;
- в) розподіл напруги за замикання на землю нейтралі генератора; г) розподіл напруги за замикання на землю лінійного виводу

Зміни напруги третьої гармоніки в різних режимах генератора використовують у вимірному органі для третьої гармоніки. Для ефективної роботи органу, що реагує на третю гармоніку напруги генератора, необхідно контролювати як напругу на лінійних виводах, так і напругу з боку нейтралі. Якщо вимірвальний орган контролює тільки напругу з боку нейтралі  $U_H$ , то захист буде нечутливим до замикань біля нейтралі генератора під час

неробочого режиму. У випадку контролю тільки напруги на лінійних виводах  $U_{Л}$ , захист буде нечутливим до замикання біля лінійних виводів генератора.

Крім того, величина ефективного значення струму третьої гармоніки  $\dot{E}_3$  залежить від режиму роботи генератора. За номінального завантаження вона приблизно в три рази більша, ніж у неробочому режимі генератора. Тому для ефективної роботи органу третьої гармоніки необхідно вибрати різні комбінації напруги третьої гармоніки на сторонах нейтралі  $U_H$  та лінійних виводах  $U_{Л}$ .

У захисті генераторів електростанцій застосовано орган напруги третьої гармоніки з гальмуванням. Робоче коло цього органу включено на суму напруги з боку нейтралі та лінійних виводів  $U_{роб} = U_H + U_{Л}$ , а гальмівне – на напругу з боку нейтралі  $U_{гальм} = U_H$ .

Під час замикання на землю біля нейтралі генератора напруга  $U_H$  є мінімальною, і гальмування майже відсутнє. Реле надійно працює. На реле подається напруга (від трансформатора напруги), яка переважно є напругою третьої гармоніки з боку лінійних виводів. У разі переміщення місця замикання від нейтралі до лінійних виводів напруга, підведена до гальмівної обмотки, зростає. Таким чином, за замикання біля лінійних виводів або на самій лінії робоче реле захисту буде заблоковано, після чого до гальмівного кола буде прикладено напругу, яка перевищує напругу робочого кола.

Отже, вимірний орган третьої гармоніки за замикань біля лінійних виводів має «мертву» зону.

Доведено, що співвідношення модулів напруги  $U_H$  і  $U_{Л}$ , за якого спрацьовує реле  $KV_2$ , являє собою відношення опору обмотки статора, відповідно до подвійного значення ємнісного опору генератора.

Модуль напруги  $U_H$  і  $U_{Л}$ , за якого спрацьовує орган  $KV_2$  (див. рис. 2.5), являє собою результувальний опір обмотки статора із сторони нейтралі

відносно землі, віднесений до подвійного значення ємнісного опору генератора.

Таким чином, вимірювальний орган прямо впливає на перехідний опір в місці замикання на землю (див. рис. 2.5, а). Спрацювання вимірювального органу третьої гармоніки (реле  $KV_2$  залежить від коефіцієнта гальмування ( $k_r$ ).

Коефіцієнт гальмування визначає «мертву» зони захисту, де  $k_r \geq 1$ , і вимірювальний орган нечутливий.

Таким чином,  $k_r$  залежить від ємності обмотки статора генератора, відстані між замиканням та лінійними виводами і від коефіцієнта відведення. Орган третьої гармоніки має спрацьовувати у випадку замикання на землю в зоні, що становить щонайменше 30% витків обмотки статора від загальної кількості витків зі сторони нейтралі. Орган, що реагує на напругу третьої гармоніки, охоплює всю обмотку зі сторони нейтралі. Тому для забезпечення захисту місцевих лінійних виводів, які реагують на напругу нульової послідовності, використовується додатковий вимірювальний орган.

Розглянемо принцип роботи вимірного пристрою захисту, що реагує на напругу першої гармоніки. На рис. 2.6 наведено залежність напруги нульової послідовності на виводах генератора від місця однофазного замикання на землю в обмотці статора.

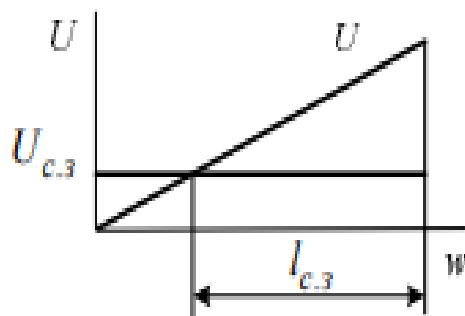


Рисунок 2.6 – Залежність напруги нульової послідовності основної частоти від віддаленості до місця замикання

За наближення місця замикання від лінійних виводів обмотки статора до нейтралі напруга лінійно зменшується до нуля, коли замикання є в нейтралі

(див. рис. 2.6). Тому цей орган надійно спрацюватиме за замикань поблизу лінійних виводів генератора і не працюватиме, тобто матиме «мертву» зону, за замикань на землю поблизу нейтралі.

Таким чином, система захисту генератора враховує різні аспекти, такі як напруга третьої гармоніки та напруга нульової композиції, щоб надійно виявляти і реагувати на замкнення в різних частинах генератора.

#### 2.4 Електромеханічний релейний захист генератора від зовнішніх симетричних коротких замикань

Схема максимального струмового захисту з пуском за напругою показана 2.7

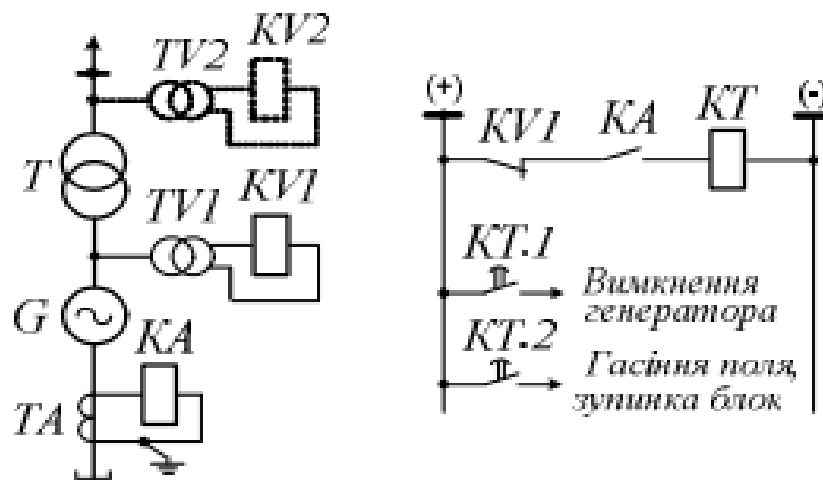


Рисунок 2.7 – Схема максимального струмового захисту з пуском за напругою

Захист виконує як функцію дальнього резервування у випадку відмови суміжних елементів, так і функції ближнього резервування у випадку відмови генератора основних захистів. Для захисту від зовнішніх симетричних коротких замикань використовуйте максимальний струмовий захист від подачі за напругою для генераторів невеликої потужності та дистанційний захист для генераторів великої потужності. На рисунку Ж.1 подано схему максимального струмового захисту з попуском за напругою.

Струмовий орган, поданий реле КА, активується струмом однієї з фаз статора генератора з боку нейтралі. За такої активації зона дії захисту охоплює всю обмотку статора генератора. Реле мінімальної напруги KV1 вмикають на лінійну напругу з боку виводів генератора. Для підвищення ефективності дальнього резервування захист доповнюється реле мінімальної напруги KV2, яке вмикається на напругу сторони вищої напруги блочного трансформатора Т. Захист виконано з двома витримками часу – для дальнього та ближнього резервування.

У разі зовнішнього короткого замикання та невиконання суміжних захистів максимальний струмовий захист генератора з попуском за напругою, з меншою витратою часу вмикається для відключення генератора від мережі.

Після відключення генератора, якщо вимірювальні органи захисту залишаються в стані спрацювання захисту, це призводить до пошкодження в самому генераторі та невиконання основних засобів захисту генератора.

У цьому випадку захист з більшою витримкою реле часу вмикається для гасіння поля генератора та зупинення його теплосилового обладнання.

Під час автономної роботи генератора для живлення виділеного навантаження, зона резервування максимального струмового захисту від подачі за напругою охоплює велику ділянку лінії, що має довжину приблизно 75 км. Однак за подачі живлення з інших джерел або в зоні короткого замикання в іншому місці ця істотно зменшується до 10–20 км.

## 2.5 Дистанційний захист генератора від зовнішніх коротких замикань

Для розширення зони захисту генератора від зовнішніх симетричних коротких замикань встановлюється дистанційний захист. У цьому випадку зона резервування захисту охоплює від кілька кілометрів до сотень метрів повітряної лінії електропередачі блоку генератор-трансформатор-лінія.

До вимірного органу дистанційного захисту (реле мінімального опору) підводять різницю фазових струмів,

Це виконується через трансформатор, встановлений на лінійних виводах обмотки статора генератора.

За такого підключення вимірного органу захисту система стає чутливою до всіх типів міжфазних коротких замикань.

Схему підключення вимірного органу дистанційного захисту зображено на рисунку 2.8.

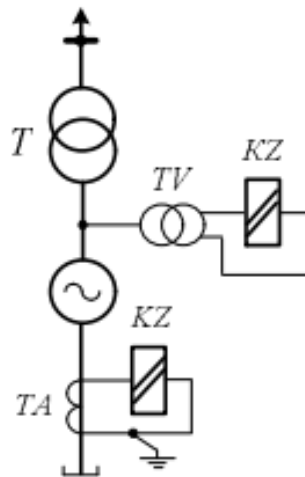


Рисунок 2.8 – Схема увімкнення вимірного органу дистанційного захисту генератора

## 2.6 Електромеханічний релейний захист генератора від несиметричних режимів

Розглянемо електромеханічний релейний захист генератора від несиметричних режимів).

В умовах несиметричних режимів, в обмотці статора генератора виникають струми зворотної послідовності. Щоб захистити генератори від таких режимів, використовуйте струмовий захист, який реагує на струми зворотної послідовності. Цей захист призначений для відключення генератора від електричної мережі та переведення його в неробочий режим.

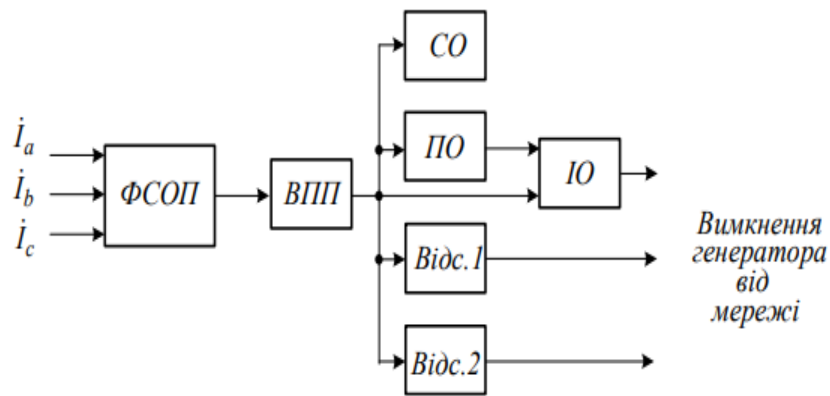


Рисунок 2.9– Структурна схема захисту РТФ-6М

У реле РТФ-6М фазні струми ( $I_a$ ,  $I_b$ ,  $I_c$ ) подаються на вхід фільтра струму оберненої послідовності (ФСОП), який подано на рис. 2.9. Вихідний струм з ФСОП, пропорційний струму зворотної послідовності, подається до вхідного перетворювального пристрою (ВПП). ВПП призначений для налаштування фільтр-реле на заданий вторинний номінальний струм генератора та перетворення вхідного струму у відповідну випрямлену напругу на виході ВПП. Узгоджена та випрямлена напруга з виходу ВПП підводиться до входів блоків логічної частини захисту.

Логічна частина захисту містить:

Пусковий орган (ПО) – використовується для запуску логічної частини пристрою.

Інтегральний орган (ІО) – відповідає захисту генератора від перевантаження струмом оберненої послідовності. Його дія полягає у відключенні генератора від мережі з певним проміжком часу, який залежить від кратності струму оберненої послідовності. Пусковий орган (ПО) активує роботу інтегрального органу ІО.

Відсічки (Відс.1 та Відс.2) – це резервні захисти генератора від несиметричних зовнішніх коротких замикань. Відсічка Відс.1 призначена для подальшого резервування і має вищий рівень чутливості, в той час як Відс.2 використовується для ближнього резервування.



Сигнальний орган (СО) – слугує для сигналізації про наявність струму зворотної послідовності в статорі генератора.

Діапазони установок органів захисту пристрою типу РТФ-6М:

сигнальний орган (СО): від 5% до 15% від номінального струму генератора (I).

пусковий орган (ПО): від 8% до 24% від номінального струму генератора (I).

відсічка Відс.1: від 40% до 120% від номінального струму генератора (I).

відсічка Відс.2: від 70% до 190% від номінального струму генератора (I).

## 2.7 Електромеханічний релейний захист обмотки статора генератора від симетричних перенавантажень

Схема захисту генератора від підвищення напруги показана на рис. 2.10.

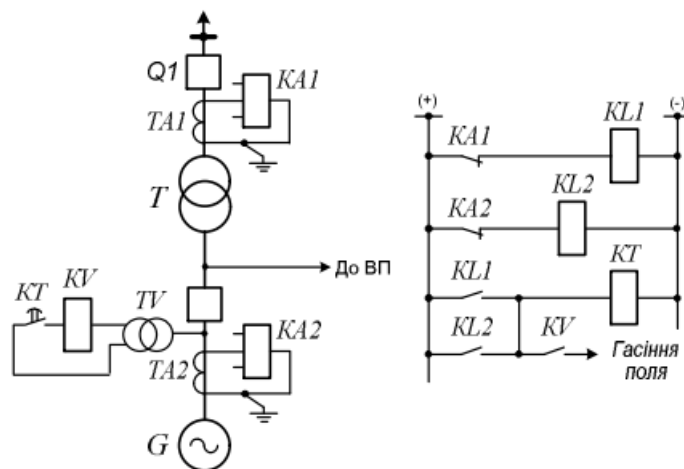


Рисунок 2.10 – Схема захисту генератора від підвищення напруги

Цей захист призначений для запобігання пробом обмотки підвищення статора генератора внаслідок напруги під час роботи генератора на неробочому ході. Дія захисту – в гасінні поля генератора.

Обов'язковим є використання цього захисту для всіх генераторів потужністю від 160 МВт і більше.

Основним елементом цього захисту є реле максимальної напруги, яке контролює рівень міжфазної напруги на виводах генератора. Для вітчизняних генераторів вибрали тип реле максимальної напруги РН-58/200.

Захист виконано з блокуванням за струмом, він діє тільки у разі використання струму в обмотці статора генератора, наприклад, під час роботи генератора на неробочому ході. Контроль струму містить трифазні реле струму КА1 та КА2, які також використовують у схемах пристроїв резервування відмови вимикачів (ПРВВ). Ці реле контролю наявних струмів у всіх фазах. Реле спрацьовує у випадку порушення струму у всіх фазах, щоб контролювати повнофазне вимкнення генератора з мережі.

Після вимкнення блочного вимикача Q1 (рис. К.1), реле КА1 повертається у вихідний стан, замикаючи контакт КА1, та дає живлення до проміжного реле КL1. Реле КL1 спрацьовує та активує реле часу КТ, яке з витримкою часу замикає контакт КТ в колі живлення реле максимальної напруги КV. Коли напруга на виводах генератора буде завищена, реле максимальної напруги КV спрацює та подасть команду на гасіння поля генератора.

Схема працює аналогічно і після вимкнення генераторного вимикача Q2. У цьому випадку блокування за струмом виконує реле струму КА2.

Введено витримку часу для вимкнення неправомірної реакції захисту на короткочасні підвищення напруги генератора, які можуть виникнути одночасно після вимкнення генератора з мережі. Ця підтримка зазвичай 3 секунди.

2.8 Електромеханічний релейний захист генератора від замикань на землю в колах збудження

Схема захисту КЗР-3 показана на рис. 2.11.

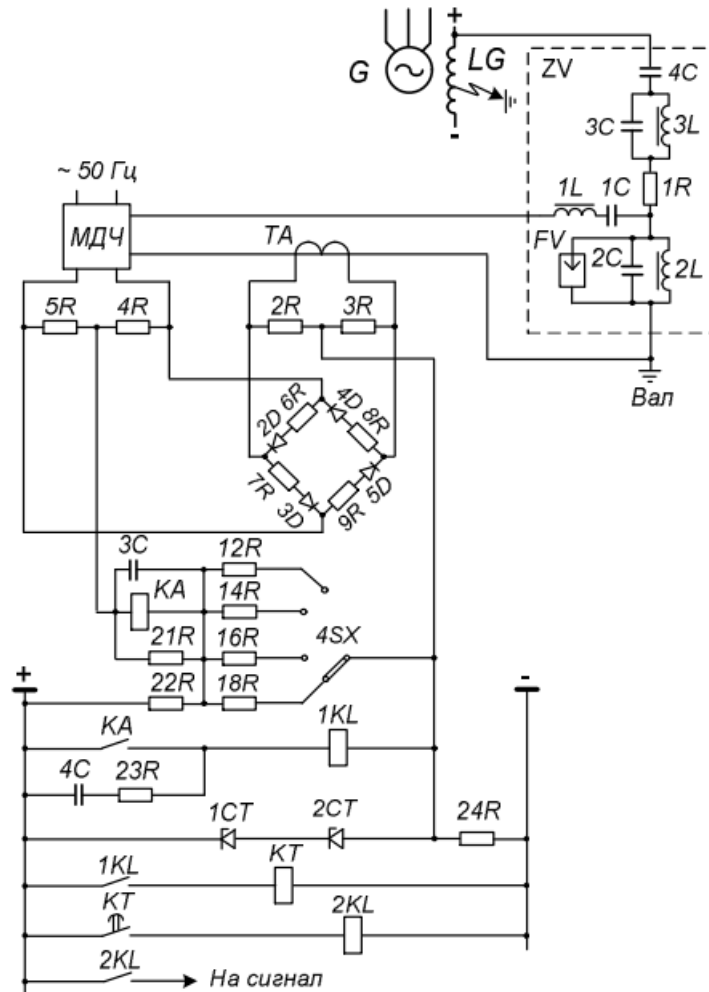


Рисунок 2.11 – Схема захисту КЗР-3

Для генераторів потрібно два види захисту від замикання: захист від замикання на землі в одному місці встановлення ключа, який діє на сигнал, та захист від замикання у двох місцях кіл відновлення, який діє на аварійне вимкнення генератора з мережі. Проте, на генераторах великої потужності (500 МВт і більше), через важкі наслідки аварій у випадку замикань в двох місцях кіл розширення, захист від замикання на землі в одному місці також може викликати аварійне вимкнення генератора з мережі.

Для захисту генератора від замикання на землю в одному місці встановлено виконання за типом КЗР-3. У цьому захисті на відновлення кола накладається змінний струм частотою 25 Гц.

Принципову схему пристрою захисту типу КЗР-3 наведено на рис. Л.1.

Коли ізоляція кіл відновлення є нормальною, частота струму 25 Гц, що подається в захист кола, переважно має ємнісну складову. Коли ізоляція руйнується, у струмі з'являється активна складова. Фазочутлива схема захисту реагує саме на цю активну складову. Вона складається з діодів та балансних резисторів, які реагують на активні складові струму частотою 25 Гц.

Коли різниця цих напруг перевищує встановлену величину, реле спрацьовує, активуючи захист.

Після вимкнення генератора вимикач Q1 (див. рис. 2.11) спрацьовує, подається сигнал оперативному персоналу і здійснюється гасіння поля генератора (сигнал надходить від реле КТ).

Таким чином, описана схема захисту від замикання на землі в одному місці дозволяє ефективно виявляти порушення ізоляції і вчасно вимикати генератор для уникнення тчжких аварійних ситуацій.

## 2.9 Захист від замикання на землю у двох місцях типу КЗР-2

Захист від замикання на землю у двох місцях типу КЗР-2, призначений для аварійного вимкнення генератора у разі замикання на землю у двох різних місцях. Його принципова схема містить реле, яке реагує на активні складові струму частотою 25 Гц, що працює у разі замикання на землю в кількох точках системи збудження генератора.

КЗР-2 також використовує чутливі магнітоелектричні реле, але має свої особливості в схемах та налаштуваннях. КЗР-2 може виявляти замкнення обмотки ротора на землю, що дає можливість реагувати на ці замкнення в двох різних точках.

Основні етапи роботи захисту КЗР-2 можуть бути такими:

Замикання на землю в одному місці: Якщо відбувається замикання на землю в одному місці, спрацьовує захист КЗР-3. Це сигналізує про наявність проблеми у відновленні системи.

Підключення захисту КЗР-2. Після виявлення замикання в одному місці від ключа управління спрацьовує захист КЗР-2 та аварійного вимикає генератор у разі подальших замикань.

Виявлення замикання в двох місцях. Захист КЗР-2 може виявляти замикання у двох точках системи збудження, спираючись на змінні струми частотою 25 Гц.

Аварійне вимкнення генератора: якщо замикання виявлено в двох місцях, захист КЗР-2 спрацьовує, і генератор автоматично вимикається з мережі.

Важливо відзначити, що точні деталі схеми та налаштування захисту КЗР-2 можуть змінюватися залежно від конкретного типу та моделі генератора, а також змінюватись в залежності від вимог експлуатації.

Захист від замикань на землю у двох місцях, типу КЗР-2, призначений для аварійного вимкнення генератора у разі виявлення замикань на землю у двох різних місцях системи збудження. Його принципова схема містить магнітно-електричне реле, яке реагує на активні складові струму частотою 25 Гц, що виникають у разі замикання на землю у кількох точках системи збудження генератора.

Реле КЗР-2 також використовує чутливі магнітоелектричні реле, але має свої особливості у схемі та налаштуваннях, які дозволяють виявляти та реагувати на замикання на землю у двох різних точках системи збудження (рис. 2.12).

Схема захисту КЗР-2, яку описали, використовує чотириплечовий міст для виявлення замикань на землю в колах збудження генератора. Основною ідеєю цього захисту є використання рівноваги моста та поляризованих реле для виявлення напрямку струму в діагоналі моста, що виникає під час замикання у різних місцях системи збудження. Принципова схема і налаштування захисту містять кілька ключових елементів.

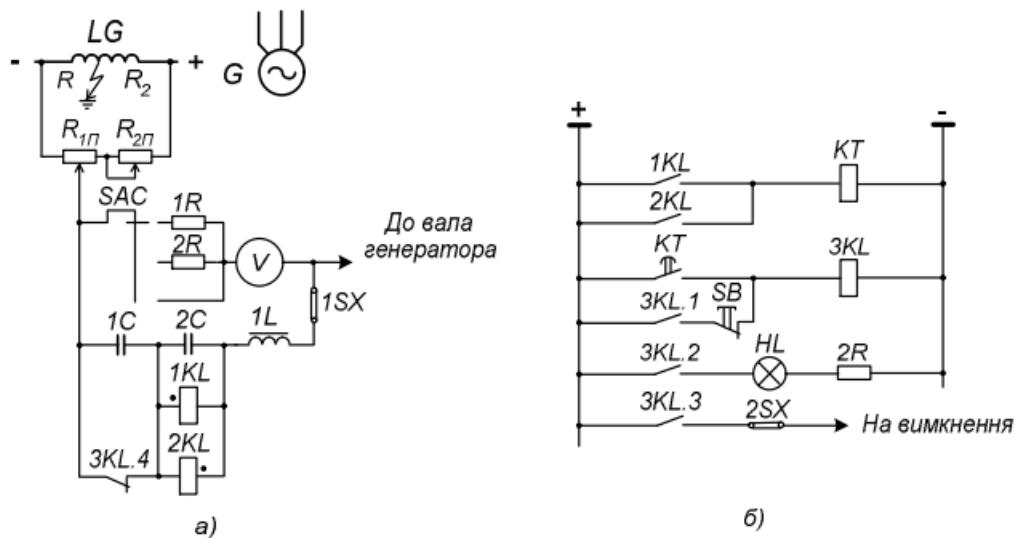


Рисунок 2.12 – Схема захисту від замикання в двох місцях кіл збудження генератора а) кола вимірювання, б) оперативні кола

*Чотириплечовий міст.* Опори мосту, обмотки збудження та потенціометри встановлені так, щоб утворити чотириплечовий міст. Цей міст розташований між двома місцями замикань на землю в системі збудження.

*Щітка на валу генератора.* Важливо відзначити, що пристрій приєднаний до вала через спеціальну щітку, а не через заземлювальний контур. Це зроблено для того, щоб струм, який протікає через діагональ моста, проходив безпосередньо через обмотки реле, а не через підшипники генератора.

*Реле часу (КТ) та проміжне реле (ЗКЛ).* Система також містить реле часу, яке створює затримку в роботі захисту, щоб уникнути помилкового спрацювання під час перехідних процесів. Проміжне реле ЗКЛ використовується для подачі живлення на сигнальну лампу та запуску системи аварійного вимкнення генератора від мережі.

*Поляризовані реле (1КЛ, 2КЛ).* Ці реле спрацьовують залежно від напрямку струму в діагоналі моста, що виникає за замикання в одному з місць системи збудження. Вони визначають, ближче до якого полюса обмотки збудження виникло замикання.

*Інші елементи.* Дросель, конденсатори та інші компоненти у схемі використовуються для обмеження струму, що проходить через обмотки реле та для забезпечення оптимальних умов комутації.

Основним недоліком цієї схеми захисту є необхідність налагодження та введення в роботу тільки після виявлення замикання в одному місці системи збудження. Це може призвести до того, що захист не відпрацює вчасно у разі замикання в обох місцях. Також, якщо замикання в іншому місці виникає одразу після першого, генератор може залишитися без ефективного захисту до моменту ручного вимкнення оператором.

### **Висновки до другого розділу**

У цьому розділі було розглянуто методи та засоби захисту генератора від коротких замикань. Системи захисту генераторів відзначаються високою відповідальністю, адже за їх правильної роботи досягається надійність та безпека електростанції.

1. Одним із ключових аспектів є захист від замикання на землю в обмотці статора. У розділі детально описано вимірювальні органи, такі як орган максимальної напруги нульової консистенції основної та орган напруги третьої гармоніки, які забезпечують ефективний контроль та вчасне виявлення замикань.

2. Для розширення зони захисту генератора від зовнішніх симетричних коротких замикань необхідно встановити дистанційний захист, який дозволяє охопити значно більшу відстань повітряних ліній електропередачі. Вимірний орган дистанційного захисту, такий як реле мінімального опору, забезпечує чутливість до всіх типів коротких замикань.

### 3 РОЗРАХУНОК УСТАВОК РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ БЛОКА ТУРБОГЕНЕРАТОР-ТРАНСФОРМАТОР

В цьому розділі розглядається важлива складова вибору електромеханічних присторів захисту – розрахунок уставок захисту для блока генератор-трансформатор-лінія.

Цей розрахунок спрямований на забезпечення ефективної та надійної роботи електромеханічних пристроїв захисту, який забезпечує надійний захист складових генератора електростанції. Розглядаються методи та параметри налаштування захисту та правильного реагування на відхилення в роботі генератора, трансформатора та лінії електропередачі електроенергії. Знаходження уставок відіграють ключову роль у забезпеченні стійкості турбогенератора та безпечної безвідмовної експлуатації.

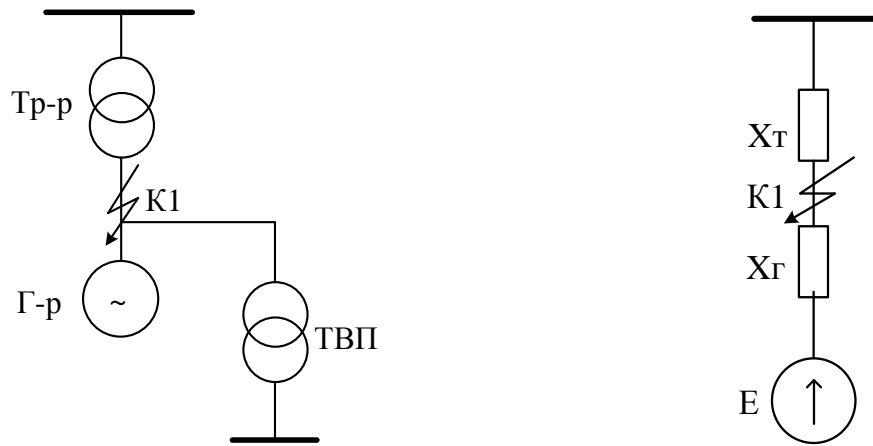
#### 3.1 Заступна схема блока

Структурна схема електричної частини станції визначає організацію та розподіл генераторів між різними РП (розподільними пунктами) з урахуванням їх напругових рівнів. Ключовими елементами є блоки генератор-трансформатор та електромагнітні зв'язки між РП, які можуть бути реалізовані через трансформатори або автотрансформатори

Розподіл генераторів між РП визначається потужністю, яка передається з різних напругових шин, позначеною як  $P_{від}$ . У цьому випадку важливо мінімізувати перетік потужності між РП різних напругових рівнів як у нормальних, так і в аварійних режимах роботи системи. Наявність генераторних вимикачів у блоках зменшує кількість операцій з вимикачами в РП підвищеної напруги, підвищуючи водночас надійність РП.

Наведемо заступну схему для уставок захисту блока на рисунку 3.1.





а) схема заміщення,

б) розрахункова схема.

Рисунок 3.1 – Заступна схема для розрахунку уставок захисту блока генератор-трансформатор

Пуск і зупинення блока зазвичай виконуються за допомогою робочого трансформатора власних потреб (ТВП) та генераторного вимикача. Це рішення дозволяє знизити вимоги до кількості та потужності резервних ТВП, сприяючи оптимізації експлуатаційних параметрів електростанції.

### 3.2 Початкові дані для розрахунку

Розглянемо розрахунок уставок спрацьовування захисту блока генератор-трансформатор. Турбогенератор типу ТВВ-1000-4УЗ. Блочний трансформатор –ТНЦ-1250000/330.

Таблиця 3.1 – Номінальні дані генератора ТВВ-1000-4УЗ

$S_{ном}$ ,	$U_{ном}$ ,	$I_{ном}$ ,	$I_{fном}$ ,	$X''_d$ ,	$X'_d$ ,	$X_d$ ,	$X_2$ ,
МВ·А	кВ	кА	кА	в.о.	в.о.	в.о.	в.о.
1111	24	26,73	7,02	0,324	0,458	0,241	0,395

Таблиця 3.2 – Номінальні дані трансформатора ТНЦ 1250000/330

$S_{ном},$	$U_{ном},$	$U_{ном},$	$U_k,$	$I_x,$
МВ·А	кВ	кВ	%	%
1250	347	24	14,5	0,55

#### 2.4 Розрахунок струмів короткого замикання

Для вибору уставок захистів необхідно провести розрахунок струмів КЗ.

Розрахункову схему показано на рис. 3.1.

Поперечна надперехідна ЕРС обмотки статора:

$$E_{q^*}'' = \sqrt{(U_{H^*} \cdot \cos \phi)^2 + (U_{H^*} \cdot \sin \phi + I_{H^*} \cdot X_d'')^2} = \quad (3.1)$$

$$= \sqrt{(24 \cdot 0,9)^2 + (24 \cdot 0,44 + 26,73 \cdot 0,324)^2} = 28,913.$$

Опір трансформатора [9] відносно базових параметрів генератора:

$$X_T = \frac{U_k \%}{100} \cdot \frac{S_{Г.ном}}{S_{Т.ном}} = \frac{14,5}{100} \cdot \frac{1111}{1250} = 0,129. \quad (3.2)$$

Визначимо струми КЗ у разі пошкодження на виводах генератора:

за трифазного КЗ [6]:

$$I_{II,0^*}^{(3)} = \frac{E_{q^*}''}{X_d''} = \frac{28,913}{0,324} = 89,239 \text{ в.о.} \quad (3.3)$$

струм зворотної послідовності за двофазного КЗ [6]:

$$I_{2II,0^*}^{(2)} = \frac{E_{q^*}''}{X_d'' + X_2} = \frac{28,913}{0,324 + 0,395} = 40,213 \text{ в.о.} \quad (3.4)$$

Визначимо струми КЗ у разі пошкодження за блочним трансформатором [6, 9]:

$$I_{xII,0*}^{(3)} = \frac{E_{q*}''}{X_d'' + X_T} = \frac{28,913}{0,324 + 0,129} = 63,844 \text{ в.о.} \quad (3.5)$$

$$I_{2II,0*}^{(2)} = \frac{E_{q*}''}{X_d'' + X_2 + 2X_T} = \frac{28,913}{0,324 + 0,395 + 0,129 \cdot 2} = 29,59 \text{ в.о.} \quad (3.6)$$

3.4 Захист від багатозазних КЗ в обмотці статора та на його виводах  
Вибираємо поздовжній диференційний захист з реле типу ДЗТ-11/5.

Далі робимо розрахунок параметрів цього захисту [12]:

- кількість витків робочої обмотки реле вибираємо  $w_{роб} = 144$  витки;

коефіцієнти трансформації трансформаторів струму дорівнюють:

$$n_T = \frac{12000}{5} = 2400;$$

- визначимо максимальну розрахункову величину первинного струму небалансу  $I_{нб.розр.маx}$  в усталеному режимі протікання через трансформатори струму зовнішнього максимального струму:

$$I_{нб.розр.маx} = k_{одн} \cdot \varepsilon \cdot I_{зовн.розр.маx} = 0,5 \cdot 0,1 \cdot 21530 = 1077 \text{ А}; \quad (3.7)$$

- визначимо МРС за протікання по робочій обмотці струму небалансу:

$$F_{роб} = \frac{k_n \cdot I_{нб.розр.маx} \cdot \omega_{роб}}{n_T} = \frac{1,6 \cdot 21530 \cdot 144}{2400} = 103,558 \quad (3.8)$$

- визначимо МРС гальмування:

$$F_{гал} = 136 \cdot \sqrt{\frac{F_{роб}^2}{100^2} - 1} = 136 \cdot \sqrt{\frac{103,558^2}{100^2} - 1} = 35,464 \text{ А}; \quad (3.9)$$

- визначимо вторинне значення струму гальмування:

$$I_{гал.в} = \frac{I_{зовн.розр.мах}}{n_T} = \frac{21530}{2400} = 8,971 \text{ А}; \quad (3.10)$$

- визначимо кількість витків в обмотці гальмування:

$$w_{гал.розр} = \frac{F_{гал}}{I_{гал.в}} = \frac{35,464}{8,971} = 3,953 \text{ вит.} \quad (3.11)$$

Беремо  $w_{гал} = 4$  витки.

### 3.5 Захист від замикань на землю в обмотці статора

Використовуємо захист напруги 1-ї та 3-ї гармонік без зони нечутливості типу ЗЗГ-1. Захист ЗЗГ-1 має два органи:

- максимальне реле напруги першої гармоніки, яке захищає 85-90% витків обмотки статора зі сторони лінійних затискачів;

- реле напруги третьої гармоніки з гальмуванням, яке захищає до 35% витків обмотки статора зі сторони нейтралі та саму нейтраль.

До реле напруги та реле з гальмуванням підводиться напруга зі сторони лінійних затискачів від трансформатора напруги типу ЗНОМ-24. Для реле з гальмуванням додатково підводиться напруга зі сторони нульових затискачів від трансформатора напруги типу ЗНОМ-24.

Захист діє з незалежною витримкою часу – 0,5 с.

### 3.6 Захист обмотки статора від зовнішніх симетричних КЗ

Використовуємо одноступеневий дистанційний захист з блок-реле типу КРС-2. Реле вмикається на різницю фазних струмів від трансформаторів струму, встановлених на стороні нульових затискачів, та на міжфазну напругу від трансформатора напруги на виводах генератора. Реле має кругову характеристику, що розташована в першому квадранті комплексної площини

зі зсувом в 3-ій квадрант, і яка охоплює початок координат. Захист виконується з двома ступенями витримки часу.

Опір спрацювання захисту:

$$Z_{C3} = \frac{0,95 \cdot U_{\Gamma, \text{НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot 1,5 \cdot I_{\Gamma, \text{НОМ}} \cdot k_n \cdot k_{II} \cdot \cos(\phi_{\text{мч}} - \phi_{\text{нав}})} =$$

$$= \frac{0,95 \cdot 24}{\sqrt{3} \cdot 1,5 \cdot 26,73 \cdot 1,2 \cdot 1,05 \cdot \cos(80^\circ - 53^\circ)} = 0,292 \quad (3.12)$$

Коефіцієнт чутливості захисту:

$$k_{\text{ч}} = \frac{Z_{\text{сз}}}{Z_{\text{ош}}} = \frac{0,292}{0,235} = 1,246 > 1,2, \quad (3.13)$$

де

$$Z_{\text{ош}} = Z_T + Z_{\Gamma} = 0,067 + 0,168 = 0,235 \quad (3.14)$$

$$Z_T = \frac{U_k \%}{100} \cdot \frac{U_{\phi}^2}{S_{T, \text{НОМ}}} = \frac{14,5}{100} \cdot \frac{24^2}{1250} = 0,067 \quad (3.15)$$

$$Z_{\Gamma} = X_d'' \cdot \frac{U_{\phi}^2}{S_{\Gamma, \text{НОМ}}} = 0,324 \cdot \frac{24^2}{1111} = 0,168 \quad (3.16)$$

Витримка часу I ступеня узгоджується з максимальною витримкою часу резервних захистів від міжфазних КЗ на елементах, які приєднані до шин високої напруги:

$$t_{\text{сз. I}} = t_{\text{ел. max}} + \Delta t = 0,5 + 0,5 = 1 \text{ с.} \quad (3.17)$$

Витримка часу II ступеня:

$$t_{\text{сз. II}} = t_{\text{сз. I}} + \Delta t = 1 + 0,5 = 1,5 \text{ с.} \quad (3.18)$$

### 3.7 Захист обмотки статора від зовнішніх несиметричних КЗ та симетричних перевантажень

Використовуємо струмовий захист зворотної послідовності з інтегрально-залежною витримкою часу. Захист здійснюється одним фільтр-реле струму зворотної послідовності типу РТФ-6М, яке має такі елементи:

- пусковий орган без витримки часу для забезпечення пуску і повернення інтегрального органу «відсічка II», його доставка визначається як:

$$I_{c,пуск} = 0,1 \cdot I_{Г.ном} = 0,1 \cdot 26730 = 2673 \text{ А}; \quad (3.19)$$

- інтегральний орган з інтегрально-залежною величиною часу  $t_{дон} = f(I_2)$ , який забезпечує правильність роботи захисту у разі зміни струму зворотної послідовності  $I_2$  [6] та охолодження ротора після усунення несиметричного перевантаження:

$$t_{дон} = \frac{A}{I_{2П,0}^2} = \frac{8}{40,213^2} = 0,0049 \text{ с}; \quad (3.20)$$

- орган «відсічка I», який спрацьовує без витримки часу та призначений для дії захисту з незалежною витримкою часу як резервний захист від зовнішніх несиметричних КЗ:

$$I_{сз2,I} = 0,4 \cdot I_{Г.ном} = 0,4 \cdot 26730 = 10692 \text{ А}; \quad (3.21)$$

- орган «відсічка II», який спрацьовує без витримки часу та призначений для резервування швидкодійних захистів турбогенератора з незалежною витримкою часу:

$$I_{сз2,II} = \frac{I_{2П,0}^2}{k_q} = \frac{40,213 \cdot 26730}{1,2} = 895744 \text{ А}; \quad (3.22)$$

- сигнальний орган, який спрацьовує без витримки часу та призначений для фіксування з незалежною витримкою часу недопустимого несиметричного навантаження генератора:

$$I_{сз,СО} = 0,05 \cdot I_{Г.ном} = 0,05 \cdot 26730 = 1336,5 \quad (3.23)$$

### 3.8 Захист ротора від перевантаження струмом збудження

Використовуємо струмовий захист з двома ступенями інтегрально-залежної витримки часу. Захист здійснюється за допомогою блок-реле РЗР-1М, яке має такі елементи:

- вхідний перетворювальний пристрій:

$$\frac{I_{рот.ном.в}}{I_{рзр.ном}} = 0,7 \div 1,2 \text{ де } I_{рзр.ном} = 2,5 \text{ А} \quad (3.24)$$

- сигнальний орган, який спрацьовує без витримки часу за струмів збудження, що перевищують допустиме значення:

$$I_{сз,СО,перв} = 1,05 \cdot I_{рот.ном} = 1,05 \cdot 7600 = 7980 \text{ А} \quad (3.25)$$

витримка часу сигнального органу – 10 с;

- пусковий орган, який спрацьовує без витримки часу та контролює пуск і повернення інтегрального органу:

$$I_{сз,ПО,перв} = 1,1 \cdot I_{рот.ном} = 1,1 \cdot 7600 = 8360 \text{ А}; \quad (3.26)$$

- інтегральний орган, який діє з двома інтегрально-залежними витримками часу залежно від накопичування теплоти в обмотці збудження під час перевантажень та охолодження після усунення перевантаження. Зміна уставок інтегрального органу не здійснюється. Для приєднання реле РЗР-1М

використовується пристрій П-528, який має трансформатор постійного струму.

### 3.9 Захист обмотки статора від симетричних перевантажень

Використовуємо максимальний струмовий захист з незалежною витримкою часу з реле типу РТВК:

$$I_{сз} = \frac{k_n}{k_{II}} \cdot I_{Г.ном} = \frac{1,05}{0,99} \cdot 26730 = 28360.53 \text{ А.} \quad (3.27)$$

Витримка часу узгоджується з захистами, які діють на увімкнення.

### 3.10 Додатковий захист ротора від перевантаження струмом збудження за його роботи з резервним збуджувачем

Використовуємо максимальний захист напруги з незалежною витримкою часу. Первинна напруга спрацювання реле напруги

$$U_{сз} = 1,5 \cdot I_{рот.ном} \cdot R_{рот.ном} = 1,5 \cdot 7600 \cdot 0,0563 = 641,82 \text{ В.} \quad (3.28)$$

Витримка часу захисту – 20 с.

### 3.11 Захист від асинхронного режиму у разі втрати збудження

Використовуємо одноступеневий дистанційний захист з незалежною витримкою часу (одне з трьох реле опору типу КРС-2). Реле вмикається на різницю фазних струмів від трансформаторів струму та на міжфазну напругу від трансформатора напруги так, щоб кутова характеристика знаходилась в III та IV квадрантах комплексної площини опору і не охоплювала початку координат. Лінія максимальної чутливості в комплексній площині за кута максимальної чутливості реле  $80^\circ$  розташовується в III квадранті під кутом  $260^\circ$ .

Діаметр кола характеристики:  $d = 1,1 \cdot X_d = 1,1 \cdot 2,41 = 2,651 \text{ в.о.}$



Зсув характеристики:  $a = 0,4 \cdot X_d = 0,4 \cdot 0,458 = 0,183$  в.о.

За цих параметрів забезпечується надійне неспрацювання захисту у нормальному режимі роботи, режимі недозбудження та у асинхронному режимі в енергосистемі [15].

Час дії захисту – 1–2 с.

Захист діє після виникнення струму в статорі генератора з витримкою часу, яка забезпечує режим самосинхронізації.

3.12 Захист від підвищення напруги на затискачах турбогенератора та трансформатора

Використовуємо максимальний захист напруги з незалежною витримкою часу, який діє за недопустимих підвищень напруги в режимі холостого ходу або скидання навантаження. Пусковим органом є реле напруги типу РН-58/200. Для виведення захисту з дії в робочому режимі генератора використовується реле струму типу РТ-40Р. Реле напруги вмикається на міжфазну напругу від трансформатора напруги на виводах генератора.

Напруга спрацювання пускового органу:

$$U_{сз} = 1,2 \cdot U_{Г.ном} = 1,2 \cdot 24 = 28,8 \text{ кВ}, \quad (3.29)$$

$$U_{сп} = \frac{U_{сз}}{n_n} = \frac{28,8}{350} = 0,082 \quad (3.30)$$

Струм спрацювання реле блокування:

$$I_{сз} = 0,1 \cdot I_{Г.ном} = 0,1 \cdot 24730 = 2473 \text{ А}, \quad (3.31)$$

$$I_{сп} = \frac{I_{сз} \cdot k_{сз}^{(3)}}{n_T} = \frac{2473 \cdot 1}{4800} = 0,515 \text{ А} \quad (3.32)$$

Витримка часу – 0,3 с.

### 3.13 Захист від замикань на землю в одній точці кола ротора

Використовуємо захист типу КЗР-3, який виконується з накладанням на коло збудження змінного струму з частотою 25 Гц.

3.14 Захист від усіх випадків КЗ в обмотках трансформатора, на його затискачах, ошинуванні високої напруги та міжфазних КЗ в обмотці статора турбогенератора

Використовуємо загальний поздовжній диференційний струмовий захист з реле типу ДЗТ-21.

Він виконується трифазним на всіх сторонах та трирелейним для підвищення чутливості і надійності.

Струм спрацювання захисту:

$$I_{сз} = 0,3 \cdot I_{ном.ВН} = \frac{0,3 \cdot 26730}{347 / 24} = \frac{8019}{14,458} = 554,628 \text{ А.} \quad (3.33)$$

Коефіцієнт чутливості захисту:

$$k_{ч} = \frac{0,87 \cdot I_{II,0^*}^{(3)} \cdot I_{Г.ном}}{k_{БТ} \cdot I_{сз}} = \frac{0,87 \cdot 89,24 \cdot 26730}{14,458 \cdot 554,628} = 258,802 > 2. \quad (3.34)$$

3.15 Захист від зовнішніх КЗ на землю в мережі з заземленими нейтраліями

Встановлюємо двоступеневий струмовий захист нульової послідовності з незалежною витримкою часу (реле струму типу РТ-40 та реле часу).

Реле струму вмикають на струм нейтралі трансформатора блока [9, 10].

Уставка комплекту I:

$$I_{сз.I} = \frac{I_{ном.ВН}}{k_n} = \frac{646}{1,5} = 430,7 \text{ А}, \quad (3.35)$$

$$I_{ср.I} = \frac{I_{сз.I}}{n_{T1}} = \frac{430,7}{400/5} = 5,38 \text{ А}. \quad (3.36)$$

Уставка комплекту II:

- за умовою забезпечення надійного спрацювання у випадку неповнофазного вимкнення блока за мінімального навантаження:

$$I_{сз.II} = \frac{0,4 \cdot I_{ном.ВН}}{k_{\chi}} = \frac{0,4 \cdot 646}{1,2} = 215,3 \text{ А}, \quad (3.37)$$

$$I_{ср.II} = \frac{I_{сз.II}}{n_{T1}} = \frac{215,3}{80} = 2,69 \text{ А}, \quad (3.38)$$

- за умовою узгодження з захистом комплекту I:

$$I_{ср.II} = \frac{I_{ср.I}}{1,05} = \frac{5,38}{1,05} = 5,12 \text{ А}. \quad (3.39)$$

Вибираємо  $I_{ср.II} = 2,69 \text{ А}$ .

Коефіцієнт чутливості захисту:

$$k_{\chi} = \frac{0,87 \cdot I_{П,о*}^{(3)} \cdot I_{Г.ном}}{k_{БТ} \cdot I_{сз.I}} = \frac{2075261}{14,3 \cdot 430,7} = 333,2 > 2. \quad (3.40)$$

Витримка часу ділення:

- за умовою узгодження з резервним захистом елементів, приєднаних до шин високої напруги:

$$t_{сз.діл} = t_{сз.елем.макс.} + \Delta t = 0,5 + 0,5 = 1,0 \text{ с}; \quad (3.41)$$

- за умовою узгодження з захистом, який діє з прискоренням

$$t_{\text{сз. діл.}} = t_{\text{сз з прискоренням}} + \Delta t = 0,1 + 0,5 = 0,6 \text{ с.} \quad (3.42)$$

Беремо:  $t_{\text{сз. діл.}} = 1 \text{ с.}$

Витримка часу першого ступеня комплекту II:

$$t_{\text{сз.1}} = t_{\text{сз. діл.}} + \Delta t = 1 + 0,5 = 1,5 \text{ с.} \quad (3.43)$$

Витримка часу другого ступеня комплекту II:

$$t_{\text{сз.2}} = t_{\text{сз.1}} + \Delta t = 1,5 + 0,5 = 2 \text{ с.} \quad (3.44)$$

### 3.16 Захист від замикань всередині бака трансформатора

Встановлюємо газовий захист з двома ступенями дії з реле типу РЗТ-51.

Для виконання однократного АВП ЛЕП використовуються реле типу РПВ-58, а для двократного – РПВ-258 або АПВ-2П.

Для визначення місць пошкодження на повітряних ЛЕП використовуються фіксувальні прилади типів ФІП, ЛИФП, ФПТ, ФПН, ФИС та МФИ.

### **Висновок до третього розділу**

В процесі розрахунку уставок релейного захисту для блока турбогенератор-трансформатор, використовуючи дані номінальних параметрів генератора ТВВ-1000-4УЗ трансформатора ТНЦ-1250000/330, було визначено струми короткого замикання за різних умов пошкоджень. Отримані результати є важливими для подальшого налаштування уставок релейного захисту з метою ефективного виявлення пошкоджень блока генератор-трансформатор.

## **4 ОСОБЛИВОСТІ МІКРОПРОЦЕСОРНИХ ЗАХИСТІВ**

На основі поданих технічних даних та розрахунків можна зробити такі висновки щодо релейного захисту блока турбогенератор-трансформатор.

*Захист від багатofазних КЗ в обмотці статора та на його виводах*

Вибрано пізній диференційний захист з реле типу ДЗТ-11/5 та виконано розрахунок параметрів цього захисту з врахуванням кількості витрат робочої обмотки та коефіцієнтів трансформації трансформаторів струму.

*Захист від замикання на землю в обмотці статора*

Використовується захист напруги 1-ї та 3-ї гармонік без зони нечутливості типу ЗЗГ-1. Захист має два органи: максимальне реле напруги першої гармоніки та реле напруги третьої гармоніки з гальмуванням.

*Захист обмотки статора від зовнішніх симетричних та несиметричних КЗ та перевантажень*

Використовується струмовий захист зворотної сторони з інтегрально-залежною витримкою. Реле РТФ-6М враховує перевантаження та охолодження після усунення несиметричних перевантажень.

*Захист ротора від перевантаження струмом збудження*

Використовується струмовий захист з двома ступенями інтегрально-залежної витримки. Блок-реле РЗР-1М контролює збудження струму та здійснює захист під час перевантаження.

*Інші види захисту*

Також враховано: захист від асинхронного режиму під час збудження, захист від підвищення напруги, захист від замикання на землю та інші види захисту.

Загалом система релейного захисту розрахована з урахуванням різноманітних сценаріїв аварій, що забезпечуватиме ефективний захист турбогенератора-трансформатора та його елементів в енергетичній системі.

#### 4.1 Класифікація мікропроцесорних захистів

Класифікація мікропроцесорних захистів забезпечує та розширює як систематизацію, так галузь застосування цих пристроїв за критеріями використання. Важливим є те, що різні застосування та завдання можуть потребувати різних типів захисту. Основні критерії класифікації мікропроцесорних захистів містять:

##### *Функціональне призначення*

Захист генераторів – спрямований на захист турбогенераторів та їх електричних генерувальних частин. Цей пристрій забезпечує швидкодійний та селективний захист різноманітних поломок. Вони застосовуються для захисту, управління та моніторингу генераторів і блоків генератор-трансформатор на будь-яких типах електростанцій малої і великої потужності.

Захист лінії передачі – призначений для виявлення та локалізації поломок на лініях електропередачі. Функції максимального струмового захисту за нульової послідовності дозволяють виявляти замикання на землю через великий опір і оперативно усувати їх.

Захист трансформаторів – мікропроцесорний пристрій забезпечує захист автотрансформаторів фазорегулювальних трансформаторів та струмообмежувальних реакторів, включно й функції управління цим обладнанням. Мікропроцесорний захист орієнтований на захист трансформаторів від перенавантажень, коротких замикань та інших шкідливих факторів.

##### *Тип перетворювача*

Аналогово-цифрові перетворювачі (АЦП) захисту – використовують обидва типи перетворювачів для комбінації аналогових та цифрових переваг.

Цифрово-аналогові перетворювачі (ЦАП) захисту – мають цифровий вхід та аналоговий вихід для забезпечення високої точності вимірювань та ефективною реалізації захисних функцій.

##### *Захисні функції*

Терміновий захист – спрямований на негайне відключення об'єкта від живлення для ліквідації серйозних пошкоджень.

Сповільнений захист – дає більше часу для аналізу та підтвердження несправності перед відключенням.

Відповідно до технічних завдань класифікація мікропроцесорних захистів забезпечує вибір оптимального типу та налаштування потрібних нам конфігурацій залежно від конкретних вимог та умов використання у блоці генератор-трансформатор-лінія .

#### 4.2 Недоліки мікропроцесорних захистів

У цьому підрозділі ми зосередимося на виявленні недоліків мікропроцесорних пристроїв у сфері захисту турбогенератора. Подамо проблеми та помилки в роботі, які можуть виникнути в процесі використання цих технологій. Розглянемо аспекти, які потребують уваги та удосконалення для оптимального впровадження мікропроцесорних пристроїв у захист блока турбогенератор-трансформатор.

Отже, розглянемо *недоліки мікропроцесорного захисту*.

– Вища складність налаштувань та експлуатації.

Оскільки мікропроцесорні комплекси почали використовуватись протягом останніх десяти років, то виникла проблема пошуку кваліфікованих фахівців. До них висувається вимога щодо високого рівня технічних знань про пристрій та навичок, для ефективного налаштування та програмування мікропроцесорних захистів.

– Залежність від електроживлення.

Мікропроцесорні захисти потребують стабільного живлення, і під час відключення електроенергії може втрачатись налаштування та погіршуватись алгоритм функціонування.

– Висока вартість.

Мікропроцесорні захисти можуть бути витратними порівняно з електромеханічними релейними захистами, особливо висока вартість встановлення та обслуговування.

– Вища складність ремонту.

За виникнення поломок у роботі мікропроцесорного захисту виникає потреба у висококваліфікованому персоналі, який володіє практичними навичками усунення помилок роботи мікропроцесорного захисту.

– Можливість програмних помилок.

Збій програмного забезпечення (ПЗ). Введення помилкових або некоректних програмних алгоритмів може призвести до неналежного захисту обладнання.

– Обмежена масштабованість.

Розширення комплексу мікропроцесорного захисту або його заміна може бути складним завданням та потребувати значних витрат.

#### *Витрати на підтримку*

Оновлення та технічна підтримка – зберігання та підтримка актуальної версії програмного забезпечення та апаратного забезпечення може потребувати додаткових витрат на технічне обслуговування.

Обмежені можливості в екстремальних умовах.

Електромагнітна сумісність – високі електромагнітні завади або радіоактивне випромінювання можуть негативно впливати на роботу мікропроцесорів.

Відповідність до програмного оновлення – недолік у програмному забезпеченні виникає найчастіше з причин невчасного оновлення ПЗ, що може викликати неправильну роботу та призвести до виникнення аварійних ситуацій.

Розглянемо мікропроцесорні захисти блока генератор-трансформатор-лінія на прикладі REG-670, RET-670, REL-670.

### 4.3 Переваги мікропроцесорних захистів



Мікропроцесорні захисти мають невеликі переваги, які роблять їх незамінними у застосуванні в системах електрозахисту. Основні переваги:

#### 1. Гнучкість та програмованість.

– Адаптивність – можливість легко змінювати параметри та функції захисту шляхом програмного оновлення, що робить їх гнучкими для різних умов експлуатації.

– Інші функції: здатність виконувати різноманітні функції та алгоритми, включно й захист від короткого замикання за високої швидкості реагування. Цифрова обробка сигналів дозволяє мікропроцесорним захистам швидко реагувати на різні шкідливі фактори та розпочинати роботу захисних заходів.

#### 2. Точність та надійність.

– Мультиmodalність – мікропроцесорні захисти можуть виконувати різні захисні функції, що дозволяють їм ефективно працювати в різноманітних умовах експлуатації.

– Зворотний зв'язок та запис даних – захисти можуть вести запис про події та зберігати дані, що допомагають аналізу та вдосконаленню роботи енергетичної системи.

– Енергоефективність – сучасні мікропроцесори мають високу енергоефективність, що дозволяє знизити споживання енергії захисними пристроями.

– Віддалений моніторинг та управління – можливість віддаленого моніторингу та управління через мережу забезпечує операторам системи енергозабезпечення ефективний контроль за захистом.

– Можливості діагностики та прогнозування – захисти можуть забезпечити сучасні функції діагностики, а також прогнозувати можливі поломки, що підвищує надійність системи.

– Висока точність вимірювань – використання цифрових вимірювачів дозволяє отримувати високоточні дані вимірювання струму, напруги та інших параметрів електричного стану системи.

– Швидкість реакції – отримується за рахунок ефективного оброблення даних. Мікропроцесори можуть швидко обробляти велику кількість даних і приймати рішення в реальному часі, що робить їх найкращими пристроями захисту для швидкого реагування на електричні пошкодження.

– Діагностика та звітність – здатність виявляти та реєструвати пошкодження допомагає операторам швидко визначати місце пошкодження та ремонтним бригадам усувати виявлені пошкодження в електричних колах.

– Збір та реєстр даних – можливість запису та реєстрації подій дозволяє проводити детальний аналіз у виявленні та передбаченні можливих пошкоджень генератора, трансформатора і завчасно планувати профілактичні заходи.

– Автоматизація та віддалене керування – можливість віддаленого керування та моніторингу дозволяє операторам взаємодіяти дистанційно із системою мікропроцесорного релейного захисту.

– Зменшення вартості та обсягу обладнання – об'єднання різних функцій в одному мікропроцесорному захисті дозволяє зменшити кількість вимірювальних та захисних пристроїв, що зменшує загальні витрати.

– Оновлення ПЗ – оновлення програмного забезпечення та внесення додаткових налаштувань ідеально налаштовують мікропроцесорний захист під параметри обладнання.

Мікропроцесорні засоби захисту є ефективними та перспективними засобами захисту електричних систем, забезпечуючи високий рівень автоматизації та контролю.

#### 4.4 Мікропроцесорний пристрій захисту блока генератор-трансформатор REG-670

Компанія АББ пропонує пристрій, який надає повний комплекс рішень для надійного захисту генераторів і блоків генератор-трансформатор всіх типів потужності. REG670, як частина серії Relion захисту генератора, забезпечують всі основні вимоги стандарту релейного захисту MEK 61850.

Система релейного захисту генератора пристроїв REG670 відповідає умовам максимальної надійності, селективності та високої швидкості реакції. Селектор внутрішніх та зовнішніх пошкоджень мікропроцесорного диференційного захисту, що працює на основі струму зворотної послідовності, забезпечує швидкодійне і селективне спрацьовування захисту.

Унікальні функції основного захисту можуть здійснювати високоселективне виявлення та усунення різноманітних пошкоджень на обмотці статора на 100%.

Алгоритм виявлення може бути використаний для розробки інтелектуальних та спеціалізованих функцій, спрямованих на оптимізацію системи захисту та розширення її можливостей з врахуванням конкретних вимог експлуатації турбогенератора. Наприклад, це може бути особливо корисним під час адаптації системи захисту до змінних умов експлуатації енергетичного об'єкта [5].

Пристрій REG670 використовується для комплексного захисту, управління та моніторингу генераторів і блоків «генератор-трансформатор» для різних типів електростанцій незалежно від їхньої потужності. Він забезпечений розширеним функціоналом захисту, що відповідає всім вимогам релейного захисту генераторів.

З великою кількістю аналогових входів та селективністю функцій REG670 забезпечує реалізацію багатьох функцій захисту в єдиному пристрої. У типовому використанні два таких пристрої можуть забезпечити всі необхідні функціональні можливості з високим рівнем резервування. REG670 також можна використовувати для захисту та управління шунтувальними реакторами.

Склад REG670 містить як традиційний захист 95% обмотки статора від замикання на землю, так і стовідсотковий захист обмотки, оснований на принципі накладання 3-ї гармоніки.

За використання принципу налагодження забезпечується ефективний захист 100% обмотки статора турбогенератора, включно й нейтраль, для будь-

яких робочих режимів. Оснований на 3-ій гармоніці стовідсотковий захист обмотки статора від замикання на землю працює за принципом порівняння напруги. Стовідсотковий захист обмотки статора від замикання на землю з використанням принципу налагодження функціонує навіть у випадку, коли генератор перебуває в неробочому стані.

У захисті від асинхронного режиму, недозбудження та короткого замикання ротора на землю за струмом оберненої послідовності та ін. користуються ретельно тестованими та добре зарекомендованими алгоритмами.

Широкий спектр аналогових входів та велика бібліотека функцій надають можливість реалізації різноманітних функцій захисту в одному інтелектуальному електронному пристрої (ІЕУ).

У стандартному використанні два такі ІЕУ захисту можуть забезпечити всі необхідні функціональні можливості з високим рівнем резервування.



Рисунок 4.1 – Мікропроцесорний пристрій релейного захисту блока генератор-трансформатор REG670

Вбудований у систему REG670 диференційний захист призначений для ефективного захисту турбогенераторів, у яких великі перехідні процеси характеризуються значними, де потрібен невеликий час відключення. З урахуванням можливості використання кількох варіантів функцій захисту, один пристрій забезпечує ефективний захист для кількох об'єктів. Такий

пристрій, який має основні функції захисту генератора, також може успішно забезпечити захист трансформатора для внутрішніх потреб. Цей принцип пропонує економічні технічні рішення, що роблять його вигідним у плані витрат та функціональності.

Технологія передачі даних пристроєм REG670 використовує оптичні канали зв'язку, які мають властивість не реагувати на завади вторинних кіл. Завдяки використанню унікального алгоритму, пристрій REG670 (або будь-який інший пристрій із серії 670) може відслідковувати значення частоти системи в широкому діапазоні від 9 Гц до 95 Гц (для енергосистем з номінальною частотою 50 Гц). Для цього до пристрою бажано підводити трифазну напругу з виводів генератора. Після цього інтелектуальний електронний блок, застосовуючи алгоритм фільтрації, буде проводити точне вимірювання векторів усіх підключених до нього сигналів струмів і напруги.

Зазначена функціональна можливість є критичною для правильної роботи системи захисту в умовах запуску та відключення електричної машини.

#### 4.5 Мікропроцесорний релейний пристрій захисту трансформатора RET670

Компанія АВВ пропонує широкий асортимент пристроїв для захисту та керування силовими трансформаторами та реакторами, придатними для використання в різних умовах. Такі інтелектуальні електронні пристрої забезпечують швидкодійний вибіркового захист підвищувальних трансформаторів із двома та трьома обмотками.

Пристрої для релейного захисту трансформаторів, котрі виготовляє компанія АВВ, входять до серії пристроїв Relion, що виконують основні функції відповідно до стандарту МЕК 61850. Вони є високотехнологічним прикладом застосування передової технології та багатого досвіду компанії АВВ у галузі виробництва обладнання. Інтелектуальні електронні пристрої RET670 (рис. 4.2) забезпечують ефективний вибіркового захист та моніторинг

трансформаторів різних типів. Крім того, вони здатні забезпечити управління та контроль за різними видами трансформаторів, включно й ті, що мають дві або три обмотки.



Рисунок 4.2 – Мікропроцесорний релейний пристрій захисту трансформатора  
RET670

Крім того, пристрій RET670 надає сучасний релейний захист для автотрансформаторів, фазорегулювальних трансформаторів та струмообмежувальних реакторів. Він також містить функції керування цим обладнанням. Пристрої з можливістю використання до 6 трифазних входів для гальмування диференційної захисту можуть ефективно застосовуватися у схемах з кількома вимикачами на будь-якій стороні трансформатора. Покращені комунікаційні можливості пристроїв RET670 дають змогу їх інтегрувати в систему автоматизації підстанції або використовувати як самостійні багатofункціональні модулі [6].

Це пристрій має селективний роздільний швидкодійний релейний захист, а також функції моніторингу та керування для двообмоткових та триобмоткових трансформаторів, шунтувальних реакторів, автотрансформаторів, підвищувальних трансформаторів та блоків генератор-трансформатор, фазозсувних трансформаторів, спеціальних трансформаторів, встановлених на тягових підстанціях. Релейний захист демонструє високу пристосовуваність до різних частот та може відмінно впоратися з коливаннями

частоти під час аварійних режимів або пуску та зупинення генераторів. Вбудований диференційний захист може працювати з різними струмовими трансформаторами, оскільки він потребує дуже низьких технічних характеристик. Захист відновлюється від насичення трансформаторного струму за допомогою функції диференційного захисту, яка використовує гальмівні елементи для іншої гармоніки з врахуванням форми хвилі. За збільшення трансформаторного струму спрацьовує функція блокування, яка реагує на п'яту гармоніку, що приводить до активації захисту [6].

З метою високочутливого виявлення пошкоджень з малими струмами короткого замикання (КЗ) застосовується диференційний захист, обладнаний чутливим органом. Робота цього чутливого органу ґрунтується на порівнянні напрямків струмів зворотної послідовності з вимірними значеннями. У випадку КЗ на землю як основний вид релейного захисту цей пристрій має кілька функцій диференційного захисту, зокрема низькоімпедансного диференційного захисту від КЗ на землю. Ця функція дозволяє розрізняти внутрішні та зовнішні КЗ з метою максимізації надійності системи.

Наявна функція високоомного диференційного захисту. Зазвичай її застосовують в багатьох випадках, таких як:

- диференційний захист нульової послідовності;
- диференційний захист автотрансформаторів;
- диференційний захист шунтувальних реакторів;
- диференційний захист Т-подібних фідерів;
- диференційний захист шин;
- диференційний захист генераторів.

RET670 отримує різноманітні сигнали небезпеки через дискретні входи, а також може відгукнутися на конкретні показники, отримані від газового реле, датчиків тиску та інших джерел. Цей пристрій може бути використаний як резервний. Дискретні входи відзначаються високим рівнем захищеності від перешкод, щоб уникнути помилкового включення у разі короткого замикання на землю у мережах постійного струму.

В пристрій вбудовано дистанційний захист, який може ефективно захистити енергосистему від зовнішніх пошкоджень або внутрішніх проблем, зокрема трансформатора. У випадку використання пристрою в резервному режимі він виконує функції МТЗ трьох компонентів струму і може слугувати цільовим захистом. Додатково цей пристрій оснащено захистом від теплового перевантаження, регулює зміни частоти та напруги, а також забезпечує захист від перезбудження [6].

Усі вимикачі силового трансформатора вибирають функцію ПРВВ для резервування відключень вимикачів та надання найвищої реакції. Реєстратори подій використовують для збереження інформації про нормальні режими роботи, що надає користувачам інформацію про стан деталей об'єкта та обробку захистів для подальшого аналізу аварій. Пристрій також може забезпечити повноцінні функції управління та оперативних блокувань. Для забезпечення стійкості електричної системи в режимі коливання RET670 може розділяти частини системи в близькому до центра місця розташування, що забезпечує їхню стійкість під час поділу. У системах процесу за стандартом МЕК 61850-9-2LE RET670 використовується до 6 польових пристроїв сполучення (MU), залежно від функціональних можливостей пристрою.

Для відбудови АВР та його логіки використовується логіка пристрою, виконаного за допомогою графічного інструмента. Під час налагодження пристрою та в процесі його тестування за допомогою графічного інструмента можна перевірити роботу пристрою в реальному часі.

#### 4.6 Мікропроцесорний релейний пристрій захисту ліній REL670

Інтелектуальні електронні пристрої дистанційного захисту електропередачі REL670 (рис. 4.3) забезпечують розширені можливості захисту повітряних і кабельних ліній, а також їх комбінацію.





Рисунок 4.3 – Мікропроцесорний релейний захист пристрій захисту ліній  
REL670

Пристрої забезпечені повносхемним дистанційним захистом із селективним однофазним і трифазним відключенням, автоматичним відновленням підключення (АПВ) з синхронізацією і контролем синхронізму, а також виявлення коливань потужності. Оснащений широким набором логіки схеми зв'язку, ІЕП з п'ятьма зонами дистанційного захисту від міжфазних замикань і замикань на землю дозволяє ефективно захищати повітряні та кабельні лінії електропередачі високої напруги в енергосистемах із заземленою через опір і глухоземлену нейтраль [7].

Інтелектуальні електронні пристрої також забезпечують функцію максимального струмового захисту за нульовою послідовністю та широким набором схем зв'язку, що дозволяє виявляти замикання на землю через великий опір і ефективно їх усувати. Доступні дистанційні захисти з полігональною або круговою характеристикою спрацьовування.

Сучасні технічні рішення дозволяють забезпечити мінімальний час відключення, менше ніж на один цикл промислової частоти. У пристрої також передбачено варіант використання в мережах з ізолюваною нейтраллю або нейтраллю, заземленою через опір. Логіка переваги фази дозволяє відключити лише одну лінію за подвійних замикань на землю.

Функція автоматичного підтримання напруги (АПН) з декількома циклами містить логіку пріоритетів для схеми з двома вимикачами на приєднання. Вона взаємодіє з функцією контролю синхронізму для швидкої реалізації АПВ з витримкою часу. Для захисту Т-подібних фідерів і лінійних

реакторів може використовуватися висококомпонентний диференційний захист.

Струмова відсічка фази від замикань на землю, чотириступенева, спрямована або ненаправлена фазна МСЗ з витримкою часу, чутливий струмовий захист від замикань на землю, для мереж з непрямим заземленням нейтралі, захист від теплового перевантаження і двоступеневий захист від зниження і підвищення напруги – це функції захисту, влаштовані в одному пристрої, який дозволяє задовольнити будь-які вимоги застосування. Дистанційний захист від міжфазних замикань і замикань на землю, а також направлений струмовий захист від замикань на землю можуть мати схему зв'язку для обміну даними з віддаленим кінцем лінії для реалізації релейного захисту з каналом зв'язку. Пристрій захисту також може виконувати повноцінні функції управління та оперативних блокувань, включно й взаємодію з функцією контролю синхронізму, що дозволяє поєднувати основне і резервне керування.

В пристроях REL670 існує функція захисту від втрати синхронізму, спроектована для використання в умовах асинхронного режиму роботи та поділу електричних систем, які розташовані близько до електричного центра. Ця функція особливо корисна в системах, що працюють за стандартом MEK61850-9-2LE, також вона може інтегруватися з чотирма пристроями, сполученими залежно від їх функціональних можливостей.

Кожен пристрій сполучення має 8 аналогових каналів вимірювання, зазвичай розподілених між 4 каналами струму та 4 каналами напруги. Це надає можливість гнучкого підключення традиційних аналогових каналів та вимірювань, отриманих від польових пристроїв сполучення.

### **Висновки до четвертого розділу**

1. Перевагою мікропроцесорних захистів є висока швидкість роботи. Мікропроцесорні захисти здатні виявляти та реагувати на дефекти в

електричних мережах миттєво, що дозволяє уникнути суттєвих пошкоджень обладнання.

2. Незважаючи на чисельні переваги, потрібно враховувати й недоліки мікропроцесорних захистів, такі як складність в обслуговуванні та вищі вартості обладнання. Проте, розвиток технологій та постійне удосконалення програмного забезпечення дозволяють долати ці обмеження.

3. Мікропроцесорні захисти все частіше стають ключовим елементом сучасних електроенергетичних систем, що забезпечує їх стабільність та високий рівень захисту в умовах різноманітних викликів та динамічних змін в електромережах.

## **5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ**

Конституція України гарантує право всіх працівників на належні безпечні та здорові умови праці. відповідно до Закону України "Про охорону праці" реалізація конституційного права працівників на охорону їх життя і здоров'я в процесі трудової діяльності, належні безпечні та здорові умови праці повинні бути забезпечені на кожному робочому місці, зокрема і для штату, які працюють з монтажем релейного захисту та автоматики в енергетичних системах України.

При плануванні робіт з будівництва та експлуатації енергетичних об'єктів особливу увагу слід приділяти забезпеченню безпеки. Важливо оцінювати результати небезпек, пов'язаних з механічними та електричними пристроями, які розташовані в приміщеннях релейних зал.

Приміщення в яких розташований релейний захист блоку генератор-трансформатор оснащені складними електронними пристроями, і під час їх монтажу необхідно здійснювати заходи для захисту працівників від випадків уражень електричним струмом.

Внаслідок протікання надмірного струму по проводах через погані контакти металевих з'єднань можливе надмірне виділення тепла в системах електротехнічного монтажу, поганого заземлення вимірювальних трансформаторів та перенапруг, що підвищує електротравматизм від створеної напруги. Також ризик виникнення пожеж відбувається попадання блискавки в приміщення релейного захисту та автоматики (рис.5.1). Блискавка може вражати різні частини електричних станцій, ЛЕП, та підстанції. Через неможливість точного передбачення місця ураження. Вона вибирає найближчий та найлегший шлях.



Рисунок 5.1 – Фото пожежі на трансформаторній підстанції з причини враження блискавкою

Наведене вище обґрунтовує актуальність проблеми, яка полягає у розвитку питань охорони праці під час виконання робіт, пов'язаних з монтажем релейного захисту, що працює в складі електроенергетичної системи України, з урахуванням сучасних знань, системного та ризик-орієнтовного підходів до природи небезпеки. [21, 22.]

Враховуючи те, що для мінімізації ризику професійного захворювання та травматизму працівників під час виконання робіт, пов'язаних з монтажем релейного захисту, необхідним є вирішення цілого комплексу питань з охорони праці, а обсяг розділу диплому обмежений, сформулюємо основні задачі щодо охорони праці за темою дипломного проектування.

- ✓ Провести аналіз умов праці під час виконання робіт, пов'язаних з монтажем релейного захисту та автоматики, що працює в складі електроенергетичної системи України, за міждержавним

ДСТУ18002:2015.

- ✓ Розробити організаційно-технічні рішення з охорони праці під час електричного монтажу релейного захисту. Розрахувати параметри захисту від перенапруг приміщення релейного захисту та автоматики.
- ✓ Описати основні заходи протипожежного захисту приміщення релейного захисту та автоматики.

Початкові дані для вирішення поставлених задач охорони праці використовуємо з попередніх розділів та підрозділів магістерської кваліфікаційної роботи.

### 5.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкта

Для розробки рішень з охорони праці під час електричного монтажу релейного захисту блока генератор-трансформатор заданих технологічних параметрів за темою диплому було проаналізовано Державні стандарти релейного захисту та автоматики України (табл. 5.1) та Галузеві керівні документи:

ГКД 34.35.501-93 Пристрої релейного захисту і електроавтоматики енергосистем. Інструкція з обслуговування для оперативного персоналу. Цей документ (ГКД) містить обов'язки персоналу під час експлуатації релейного захисту та автоматики.

Аналіз нормативно-технічної літератури дозволив виділити ряд однотипних операцій під час експлуатації РЗА.

Таблиця 5.1 – Державні стандарти України з релейного захисту та автоматики

1	ДСТУ Б Д.1.1-1:2013	Реконструкція пристроїв релейного захисту та автоматики блоку генератор-трансформатор.	чинний
2	ДСТУ ІЕС 60044-1:2008	Трансформатори вимірювальні (ІЕС 60044-1:2003, IDT)	чинний
3	ДСТУ 2936-94	Реле електричні. Терміни та визначення	чинний
4	ДСТУ ІЕС 60050-604:2004	Словник електротехнічних термінів	чинний

Підготовчі роботи охоплюють визначення кліматичних умов на місці проведення робіт, підготовку робочої площадки, перевірку справності інструментів та пристосувань, перевірку опорних конструкцій, перевірку ізоляції системи, використовуваних підйомних механізмів та окремих елементів, інструктаж та перевірку знань персоналу з безпеки праці.

Кліматичні умови визначаються шляхом вимірювання температури, відносної вологості та швидкості руху повітря. Відповідно до вимог, ці показники не мають виходити за межі установлених допустимих значень:

- температура повітря в теплу пору року не більше плюс 28 °С;
- швидкість вітру 0,2 – 0,6 м/с;
- відносна вологість не більше 75 %.

Роботи з монтажу пристроїв РЗА потрібно проводити в світлий час доби, значення освітленості на робочому місці монтажника має бути не менше 200 лк.

Підготовка робочої площадки полягає в розчищенні місця, де розстиляють брезент, на який в певному порядку розкладають приладдя і інструмент. Ретельно перевіряють їх цілісність і відсутність дефектів, терміни випробування та придатність ізолювальних засобів. Перевіряють і одягають комплект робочого одягу. Одягають захисні каски і запобіжні пояси.

За безпекою виконання всіх технологічних операцій стежить керівник робіт. В процесі робіт здійснюється постійний нагляд за всіма членами бригади. Керівник робіт не може безпосередньо брати участь в роботах.

В процесі установлення релейного захисту блока генератор-трансформатор для мінімізації ризику травматизму необхідно дотримуватися таких організаційно-технічних вимог техніки безпеки та виробничої санітарії:

- виконання електромонтажних робіт дозволяється особам, що пройшли медичний огляд і спеціальне навчання для роботи на електроустановках;
- основні операції установлення генератора мають проводитися на рівні землі;
- під час проведення робіт на висоті має бути встановлено огороження

та позначено в установленому порядку межі небезпечних ділянок;

- за неможливості облаштування огорожень монтажні роботи мають виконуватися із застосуванням запобіжного пояса і страхувального каната;

- електричні з'єднання необхідно виконувати за розробленою монтажною схемою системи;

- протягом встановлення релейного захисту блока генератор-трансформатор у місці встановлення має бути від'єднане живлення;

- забороняється наближатися до рухомих приладів на небезпечну відстань, коли вони знаходяться в роботі;

- не потрібно поєднувати у контактних електричних з'єднаннях різні метали (наприклад, мідь і алюміній);

- необхідно, щоб всі електричні кабелі електроживлення мали надійну ізоляцію та відповідали технологічним вимогам;

- для захисту людей від ураження електричним струмом має бути виконано заземлення.

#### 5.1.1 Аналіз умов праці робіт, пов'язаних з монтажем релейного захисту для блока генератор-трансформатор

На основі аналізу викладеного матеріалу під час проектування і виконання монтажних робіт релейного захисту блока генератор-трансформатор мають бути враховані такі небезпечні і шкідливі виробничі фактори (з урахуванням міждержавного нормативного документа з охорони праці ДСТУ 12.0.003-2015).

Фізичні небезпечні й шкідливі виробничі фактори:

- небезпечні рівні напруги в електричному колі, замикання якого може відбутися через тіло людини;

- розташування робочого місця на значній висоті відносно поверхні землі (підлоги);

- гострі крайки, задирки і шорсткість на поверхнях заготовок, інструментів, устаткування;



- рухомі частини виробничого устаткування;
- вироби, що пересуваються, заготовки, матеріали;
- підвищена і знижена температура повітря робочої зони;
- підвищена чи знижена рухливість повітря;
- недостатня освітленість робочої зони;
- відсутність чи нестача природного освітлення;
- підвищена яскравість світла; пряма і відбита блискітливість;
- підвищений рівень шуму на робочому місці;
- підвищений рівень ультразвуку;
- підвищений рівень іонізуючих випромінювань у робочій зоні;
- підвищений рівень статичної електрики.

Додатково мають бути враховані такі фізичні небезпечні виробничі фактори:

- несправність вантажопідіймальних засобів;
- підвищений рівень електричної енергії;
- підвищена пожежна безпека: відкритий вогонь, токсичні продукти згорання, іскри, дим;
- підвищена вибухонебезпечність.

Психофізіологічні небезпечні й шкідливі фактори:

- фізичні перевантаження;
- нервово-психологічні – втрата самовладання, порушення координації рухів, необережні дії, недбале виконання своєї роботи.

Джерелами (носіями) безпеки є:

- рухомі машини і механізми;
- електрообладнання;
- природне середовище;
- людина.

## 5.2 Розрахунок параметрів пристрою захисту від перенапруг релейного захисту блока генератор-трансформатор

Розрахуємо і побудуємо блискавкозахист для приміщення релейного захисту блока генератор-трансформатор, яке відноситься за ПУЕ до класу В-I і має розміри: довжину  $A = 36$  (м), ширину  $B = 25$  (м), висоту  $H = 5$  (м). Питомий опір ґрунту  $\rho = 20 \cdot 10^4$  (Ом·см). Середньорічна тривалість гроз 20 – 40 (год).

Розв'язок

Визначають очікувану на рік кількість уражень блискавкою будівель, необладнаних блискавкозахистом за формулою (5.1):

$$N = \left[ (A + 6 \cdot H_M)(B + 6 \cdot H_M) - 7,7 \cdot H_M^2 \right] \cdot n \cdot 10^{-6}, \quad (5.1)$$

де  $A$ ,  $B$  – відповідно довжина і ширина будівлі, що має в площі прямокутну форму, м;

$H_M$  – найбільша висота будівлі, м;

$n$  – середньорічна кількість ударів блискавки на 1 км<sup>2</sup> земної поверхні в місці розташування будівлі;

$$N = \left[ (36 + 6 \cdot 5)(25 + 6 \cdot 5) - 7,7 \cdot 5^2 \right] \cdot 2 \cdot 10^{-6} = 0,009251.$$

За таблицею визначаємо, що приміщення відноситься до 1 категорії захисту, зона А. Відношення  $A/B=36/25=1,44 < 3$ , тож доцільно використовувати двострижневі блискавковідводи.

Вибираємо відстань від стрижневого блискавковідвода до споруди (див. рис. 5.2)  $S_b$ .

Визначимо відстань між двома окремими блискавковідводами

$$L = 2 \cdot S_b + A = 2 \cdot 6 + 36 = 48 \text{ (м)}. \quad (5.2)$$

Для забезпечення потрібного блискавкозахисту необхідно, щоб будинок перекривався зонами захисту, утвореними кожним блискавковідводом. Тому вибираємо радіус захисту  $R_x = 10$  (м).

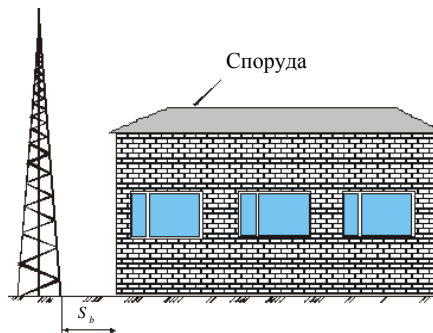


Рисунок 5.2 – Відстань  $S_b$  від стрижневого блискавковідвода до споруди

Визначимо висоту кожного блискавковідвода для зони  $A$  за формулою

$$H_{1,2} = \frac{v \pm \sqrt{v^2 - 0,008 \cdot c}}{0,004}, \quad (5.3)$$

де  $v = 1,1 + 0,00235 \cdot H_x$ ,  $c = R_x + 1,294 \cdot H_x$ ;

$$v = 1,1 + 0,00235 \cdot 5 = 1,1117;$$

$$c = 10 + 1,294 \cdot 5 = 16,47;$$

$$H_1 = \frac{1,1117 + \sqrt{1,1117^2 - 0,008 \cdot 16,47}}{0,004} = 536,896 \text{ (м)},$$

$$H_2 = \frac{1,1117 - \sqrt{1,1117^2 - 0,008 \cdot 16,47}}{0,004} = 18,955 \text{ (м)}.$$

З двох значень вибираємо  $H = 18,955$  м.

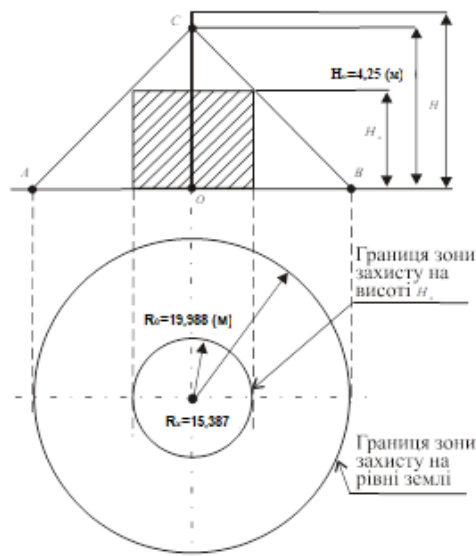


Рисунок 5.3 – Зона захисту одинарного блискавковідвода

В середині поміж блискавковідводами ширина захисту буде визначатися на рівні землі величиною  $R_c = R_o = 19,998$  (м), а на висоті – величиною  $R_{cx} = 15,387$  (м).

### 5.3 Протипожежний захист приміщення релейного захисту блока генератор-трансформатор

Протипожежний захист регламентується НАПБ 05.032-2002 – державним стандартом протипожежного захисту розподільних пристроїв, підстанцій та трансформаторів.

Загальними вимогами в процесі планування і монтажу підстанції є:

- на відкритих і закритих розподільних пристроях і підстанціях мають передбачатися протипожежні заходи залежно від зарахування підстанцій до певної групи;

- на підстанціях III групи в одноповерхових будівлях і спорудах допускається застосовувати незахищені металеві конструкції типу «сандвіч» і «моно панель» з важко горючим або негорючим утеплювачем;

5.4 Безпека у надзвичайних ситуаціях. Дослідження стійкості роботи блока релейного захисту в умовах дії загрозливих чинників

У цій частині ключовим етапом є дослідження, спрямоване на вивчення та аналіз впливу двох важливих чинників – іонізувального випромінювання та електромагнітних імпульсів – на роботу релейного захисту блока генератор-трансформатор. Приділення уваги цим аспектам обґрунтовано їхньою значущістю для безперебійної та надійної роботи енергетичних систем.

Іонізувальні випромінювання та електромагнітні імпульси здійснюють вплив на нормальну роботу релейного захисту, що може призвести до непередбачених збоїв та аварій. З урахуванням сказаного, важливо з'ясувати, яка потрібна кількість обладнання, стійкого до зазначених чинників, та яким чином може бути забезпечена його ефективність в умовах зовнішніх впливів.

Внаслідок виконаних розрахунків дійшли висновку щодо важливості проведення детального аналізу впливу іонізувального випромінювання та електромагнітних імпульсів на блок релейного захисту. Цей аналіз дозволяє визначити потенційні ризики, що можуть виникнути внаслідок недотримання певних дій. Важливим є впровадження заходів захисту та забезпечення безпечної роботи персоналу та приладів. Розуміння цих аспектів є критичним для розробки та вдосконалення методів захисту, що забезпечують безперебійну та стійку роботу енергетичних установок, безпеку персоналу та безпечні умови праці у найрізноманітніших умовах експлуатації.

Такий підхід дозволяє налагоджувати додаткові заходи захисту

5.4.1 Дослідження стійкості роботи блока релейного захисту в умовах дії іонізувальних випромінювань

Аналізуємо нашу систему РЕА і вибираємо деякі елементи її функціонування: мікросхеми, інтегральні схеми, напівпровідники, резистори, випрямлячі, конденсатори, діоди, транзистори, діелектричні матеріали.

Вибираємо граничні значення експозиційних доз, за яких в елементах можуть виникнути незворотні зміни. Дані заносимо в таблицю 5.2.



Таблиця 5.2 – Експозиційні дози елементів обладнання релейного захисту блока генератор-трансформатор

Ч.ч.	Елементи обладнання блока релейного захисту		$D_{ep,i}(P)$	$D_{ep}(P)$
1	Поздовжній диференційний захист	ДЗТ-11/5	$10^5$	$10^5$
2	Захист напруги 1-ї та 3-ї гармонік без зони нечутливості	ЗЗГ-1	$10^5$	
3	Струмовий захист зворотної послідовності	РТФ-6М	$10^5$	
4	Дистанційних захист	КРС-2	$10^5$	
5	Струмовий захист із двома ступенями інтегрально-залежної витримки часу	РЗР-1М	$10^5$	
6	Максимальний струмовий захист	РТВК	$10^5$	
7	Максимальний захист напруги	РН-58/20, РТ-40/Р	$10^5$	
8	Накладання змінного струму частотою 25 Гц на коло збудження	КЗР-3	$10^5$	
9	Поздовжній диференційний захист.	ДЗТ-21	$10^5$	
10	Стумовий захист нульової послідовності	РТ-40	$10^5$	
11	Газовий захист	РЗТ-50	$10^5$	

За мінімальним значенням  $D_{ep,i}$  визначаємо  $D_{ep}$  об'єкта загалом:

$$D_{ep} = 10^5(P). \quad (5.4)$$

Визначимо можливу дозу опромінення:

$$D_M = \frac{2 \cdot P_{1\_екв.мах} \cdot (\sqrt{t_K} - \sqrt{t_{II}})}{K_{осл}}; \quad (5.5)$$

$$D_M = \frac{2 \cdot 4,93 \cdot (\sqrt{8760} - \sqrt{1})}{1} = 912,98 \text{ (мР)}.$$

де  $P_{1\_екв.мах}$  – 4,93 рівень радіації в умовах експлуатації;

$t_K$  – термін експлуатації;

$K_{осл} = 1$  – коефіцієнт послаблення радіації (окремі елементи мережі можуть встановлюватись на відкритій місцевості).

Допустимий час роботи РЕА:

$$t_{дон} = \left( \frac{D_{ep} \cdot K_{осл} + 2 \cdot P_{1\_екв.мах} \cdot \sqrt{t_{II}}}{2 \cdot P_{1\_екв.мах}} \right)^2 \text{ [ГОД]}; \quad (5.6)$$

$$t_{дон} = \left( \frac{10^5 \cdot 1 + 2 \cdot 4,93 \cdot \sqrt{1}}{2 \cdot 4,93} \right)^2 = 1,029 \cdot 10^8 \text{ (ГОД)};$$

$$P_{ep} = \left( \frac{D_{ep} \cdot K_{осл}}{2 \cdot (\sqrt{t_K} - \sqrt{t_{II}})} \right) = \left( \frac{10^5 \cdot 1}{2 \cdot (\sqrt{8760} - \sqrt{1})} \right) = 539,98 \text{ (мР)}. \quad (5.7)$$

За отриманими результатами розрахунку для блока релейного захисту, мінімальними значенням об'єкта загалом  $D_{ep} = 10^5$ , (мР), можливою дозою опромінення  $D_M = 912,98$  (мР) та потужністю опромінення  $P_{ep} = 537,087$  (мР), робимо висновок, що  $P_{ep} \geq P_{1\_мах}$  ( $539,98$  Р/год  $>$   $4,93$  Р/год) та  $D_{ep} > D_M$  ( $10^5$  Р  $>$   $912,98$  Р), тобто вузлові точки мережі, і відповідно мережа, працюватимуть стійко в заданих умовах. Отже, не буде потрібно розробляти заходи щодо підвищення стійкості їх роботи.



#### 5.4.2 Дослідження стійкості роботи блока релейного захисту за умови дії електромагнітного імпульсу

Початковими умовами оцінення стійкості є:

- вертикальна складова напруженості електромагнітного поля  $E_B = 10,88$  (кВ/м)
- напруга живлення  $U_{ж} = 220 \pm 5\%$  (В).

Послідовно виконуємо оцінювання стійкості:

1. Визначаємо горизонтальну складову напруженості електричного поля:

$$E_{\Gamma} = E_B \cdot 10^{-3} = 10,88 \cdot 10 = 0,01088 \text{ (кВ/м)}. \quad (5.8)$$

2. Визначимо на кожній ділянці максимальну довжину вертикальних (горизонтальних) струмоведучих частин:

Для кабельних наземних ліній  $l_B = 0,6$  (м),  $l_{\Gamma} = 1,3$  (м).

3. Визначимо для кожної ділянки напруги наводок на струмопровідних частинах:

$$U_B = E_{\Gamma} \cdot l_B; \quad U_{\Gamma} = E_B \cdot l_{\Gamma} \quad (5.9)$$

$$U_B = 0,01088 \cdot 0,6 = 0,006528 \text{ (кВ)},$$

$$U_{\Gamma} = 10,88 \cdot 1,3 = 14,144 \text{ (кВ)}.$$

4. Визначимо допустиму напругу живлення:

$$U_{дон} = U_{ж} \cdot \frac{U_{ж}}{100} \cdot N; \quad (5.10)$$

$$U_{дон} = 220 \cdot \frac{220}{100} \cdot 5 = 231 \text{ (В)}.$$

де  $U_{ж}$  – напруга живлення;

$N$  – допустимі коливання.

5. Визначимо коефіцієнти безпеки системи для кожної ділянки за формулою:

$$K_{\sigma} = 20 \cdot \lg \frac{U_{\text{дон.}}}{U_{\text{в}(z)}}; \quad (5.11)$$

$$K_{\sigma_1} = 20 \cdot \lg \frac{231}{0,006528} = 90,97; (\text{дБ})$$

$$K_{\sigma_2} = 20 \cdot \lg \frac{231}{14,144} = 26,444; (\text{дБ})$$

Отримані результати заносимо в таблицю 5.3

Таблиця 5.3

Елементи блока	$K_{\sigma_1}$	$K_{\sigma_2}$	Дослідження стійкості
Система живлення (для кабельних підземних ліній)	90,97	26,44	нестійка

Оскільки коефіцієнт безпеки  $K_{\sigma_2} \leq 40$  (дБ), то апаратура буде нестійка в роботі. Для підвищення стійкості роботи РЕА в умовах дії електромагнітного випромінювання застосовується екранування.

5.4.3 Для захисту від ЕМІ проведемо розрахунок сталевого екрана прямокутної форми

1. Визначаємо необхідну товщину екрана:

$$t = \frac{A_{\text{екр}}}{k \cdot \sqrt{f}}; \quad (5.12)$$

$$A_{\text{екр}} = K_{\sigma_1} - K_{\text{б.розрах}} \quad (5.13)$$

$$A_{\text{екр}} = 40 + 26,444 = 66,444 \text{ (дБ)},$$

$$t = \frac{66,444}{5,2 \cdot \sqrt{15000}} = 0,0729 \text{ (см)}.$$

де  $K_{\sigma 1}$  – необхідне гасіння в екрані, дБ;

$f$  – 15000 власна частота сталевого екрана, Гц.

Отже, щоб РЗА працювало нормально, потрібно встановити екран товщиною 0,75 мм. Така модернізація створить екран, який буде надавати відповідний захист.

#### 5.4.4 Розробка заходів з підвищення стійкості роботи блока релейного захисту в умовах надзвичайних ситуацій

Для підвищення стійкості роботи блока релейного захисту в умовах надзвичайних ситуацій, таких як іонізувальні випромінювання та електромагнітні імпульси, можна впровадити ряд заходів:

*Екранування.* Встановлення екранів або електромагнітних захисних елементів може значно зменшити вплив зовнішніх електромагнітних полів на елементи релейного захисту. Екранування може бути реалізовано за допомогою металевих корпусів або спеціальних матеріалів, які вбирають електромагнітне випромінювання.

*Дистанціювання та розташування.* Розташування обладнання релейного захисту віддалено від іонізувального джерела випромінювання або розташування електромагнітних полів може допомогти зменшити їх вплив. Оптимальне розташування та правильне дистанціювання важливі для забезпечення ефективної роботи без великого впливу зовнішніх факторів.

*Використання захисту від електромагнітних імпульсів.* Елементи захисту від ЕМІ, такі як феритові сердечники та екрановані кабелі, можуть захистити електроніку релейного захисту від вказаних електромагнітних завад.

*Дублювання та резервування.* Встановлення подвійних елементів релейного захисту та система резервного живлення дозволяють забезпечити неперервну роботу в умовах, коли один блок може бути включений.

*Вдосконалення конструкції.* Розробка електромагнітно-захисних конструкцій для елементів релейного захисту може містити використання спеціальних матеріалів та конструкцій, спроектованих для мінімізації впливу зовнішніх факторів.

*Обладнання для моніторингу та діагностики.* Встановлення систем моніторингу та діагностики, які можуть своєчасно виявити будь-які аномалії в роботі релейного захисту, дозволяє операторам швидко реагувати на місці виникнення проблем та запобігати їх подальшому поширенню.

Ці заходи, за правильної реалізації, можуть забезпечити ефективну роботу релейного захисту в умовах надзвичайних ситуацій та стійкість роботоздатності системи.

Отже в процесі проведених досліджень та аналізу стійкості роботи релейного захисту в умовах надзвичайних ситуацій було виявлено, які елементи системи можуть бути піддані впливу іонізуючого випромінювання та електромагнітних імпульсів. Ці фактори можуть вплинути на нормальну роботу обладнання та відповідно на надійність системи релейного захисту.

Для забезпечення ефективної роботи та стійкості релейного захисту в умовах надзвичайних ситуацій було запропоновано та подано різноманітні заходи. Крім того, використання екранування, дистанціювання, захисту від електромагнітних імпульсів, дублювання та резервування елементів, вдосконалення конструкції і впровадження системи моніторингу та діагностики можуть істотно підвищити стійкість системи.

Проаналізовано експозиційні дози елементів обладнання релейного захисту та визначено їх вплив на стійкість функціонування. Виявлено, що деякі елементи можуть бути найбільш вразливими до впливу зовнішніх факторів, а для їхнього захисту необхідно використовувати додаткові заходи, такі як скринінг та моніторинг.

Загалом впровадження висвітлених заходів дозволяє забезпечити ефективну та надійну роботу релейного захисту, що є критичним для стабільності та безпеки енергетичних систем у надзвичайних умовах експлуатації.

## Висновок до п'ятого розділу

1. У сфері охорони праці визначено важливі аспекти та запропоновано заходи для забезпечення безпеки персоналу під час роботи електричних машин, синхронних генераторів, монтажу релейного захисту тощо. Рекомендації щодо безпеки в надзвичайних ситуаціях охоплюють організаційні та технічні заходи, спрямовані на запобігання та ліквідацію негативних наслідків.

2. Приведені в розділі заходи та рекомендації формують правильний підхід до забезпечення стійкості, надійності та безпеки обслуговуючого персоналу і пристроїв захисту синхронних генераторів у різних ситуаціях.

3. Рекомендації розглянутих стандартів спрямовані на підвищення рівня безпеки в енергетичних установах.

4. Рекомендації щодо безпеки персоналу – це використання захисного обладнання, дотримання рекомендацій та сучасних технологій для моніторингу рівнів випромінювання. Забезпечення високого ступеня безпеки для робочого персоналу щодо правильних заходів є ключовим елементом мінімізації шкідливих умов праці.

5. Результати впливу іонізуючого випромінювання та електромагнітних імпульсів на роботу релейного захисту блока генератор-трансформатор свідчать про необхідність впровадження заходів з охорони праці для персоналу.

6. Враховуючи високу вразливість елементів обладнання, таких як мікросхеми та інтегральні схеми, до іонізуючого випромінювання, важливо розробити та впровадити стратегії мінімізації ризиків.

7. Заходи безпеки в надзвичайних ситуаціях передбачають впровадження екранування, дистанціювання задля мінімізації впливу на персонал та релейний захист блока генератор-трансформатор. З метою мінімізації ризиків впливу та запобігання аварій у надзвичайних ситуаціях, констатують: усі ці заходи та рекомендації формують правильний підхід до забезпечення безпечних умов праці та безпеки електричних пристроїв релейного захисту блока генератор-трансформатор.

## 6 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

### 6.1 Економічне оцінення ефективності реконструкції підстанцій

Стратегічні напрямки розвитку електроенергетики передбачають велику програму реконструкції і розвитку пристроїв електропостачання. Значним напрямком розвитку розподільчої мережі є реконструкція пристроїв релейного захисту та автоматики. Під час розробки інвестиційних проектів з реконструкції, модернізації або впровадження інновацій важливим моментом, що забезпечує їх реалізацію, є їхнє техніко-економічне обґрунтування.

Економічне обґрунтування ефективності практичного використання нових технічних чи технологічних розробок ґрунтується на загальних методичних положеннях теорії економічної ефективності капітальних вкладень. Однак специфіка кожного науково-технічного рішення потребує індивідуального підходу в процесі його економічного обґрунтування.

Методика економічного обґрунтування реконструкції підстанцій залежить від виду заходів, які передбачають цю реконструкцію. Найбільш типовими заходами можуть бути:

- заміна комутаційних апаратів (вимикачів, роз'єднувачів);
- заміна трансформаторів;
- установлення обмежувачів перенапруги;
- впровадження нових схем захистів;
- впровадження мікропроцесорних терміналів.

За необхідності індивідуального підходу до економічного оцінення кожного із заходів потрібно враховувати, що всі вони ґрунтуються на типовій методиці оцінювання ефективності інвестиційних проектів, зокрема на методиці оцінювання ефективності впровадження нової техніки.

Розглянемо специфічні особливості використання загальних методичних основ до економічного обґрунтування ефективності конкретних реконструктивних заходів в діяльність підстанцій.

## 6.2 Економічне обґрунтування доцільності впровадження мікропроцесорних захистів

Необхідність впровадження вдосконалених схем релейних захистів може бути викликана різними причинами:

- технічним переозброєнням енергетичних об'єктів – впровадженням нового обладнання, автоматичних систем керування в управлінні енергетичними пристроями;

- невідповідністю технічних і функціональних характеристик механічного релейного захисту вимогам селективності, швидкодії і чутливості та правильності спрацювання у блоці генератор-трансформатор;

- фізичним зносом об'єктів;

- припиненням випуску запасних частин для механічних схем захистів;

- збільшенням числа відмов функціонування або числа пошкоджень діючих захистів.

Водночас може використовуватися єдиний методичний підхід економічного оцінення, оснований на зіставленні витрат, необхідних для впровадження нового захисту і того економічного ефекту, який буде отриманий за його використання. Критерієм може виступати як термін окупності, так і величина річного приведенного економічного ефекту.

Витрати на впровадження нових мікропроцесорних терміналів традиційно, як і впровадження будь-якої нової техніки, містять вартість капітальних вкладень, необхідних для придбання або створення удосконаленої схеми захисту ( $K_{зах}$ ) і поточні річні витрати на її утримання і обслуговування ( $C_{пот.зах}$ ).

Вартість нового захисту визначається за рівнем сучасних ринкових цін. Якщо пропонується до впровадження новий захист, яка не має аналогів, то складається кошторисна вартість нового захисту:

$$K_{\text{зах}} = \sum K_i + K_{\text{мнж}}, \quad (6.1)$$

де  $K_i$  – вартість  $i$ -елементів, які використовуються під час створення нової схеми захисту,

$K_{\text{мнж}}$  – витрати на монтаж плюс налагодження плюс розрахунок уставок схеми, які вибираються укрупнено, в розмірі 5% від вартості захисту, або розраховуються за формулою

$$K_{\text{мнж}} = t_{\text{розр}} \sum (Ч_{\text{роб}} \cdot \frac{З_{\text{міс}}}{Т_{\text{міс}}})_j, \quad (6.2)$$

де  $t_{\text{розр}}$  – час, необхідний для розробки і монтажу схеми (визначається дослідним шляхом);

$Ч_{\text{роб}}$  – кількість  $j$ -працівників, які беруть участь в розробці і монтажі схеми захисту;

$З_{\text{міс}}$  – середня місячна заробітна плата або оклад  $j$ -працівника залежно від розряду або категорії його кваліфікації;

$Т_{\text{міс}}$  – нормативний місячний фонд робочого часу, год, усереднено береться в розмірі 168 год (21 робочий день у місяці).

Поточні витрати на утримання захисту містять витрати на поточне обслуговування захисту ( $С_{\text{обс.зах}}$ ). Ці витрати неістотні, тому можуть вибиратися в розмірі 0,5÷1% від вартості захисту. До складу поточних витрат



також вносяться амортизаційні відрахування ( $C_a$ ). Таким чином, поточні витрати на експлуатацію релейного захисту визначаються за виразом:

$$C_{\text{пот.зах}} = C_{\text{обс.зах}} + C_a. \quad (6.3)$$

Під час оцінювання доцільності впровадження нового мікропроцесорного захисту важливе значення має розрахунок річного економічного результату його використання. Цей результат може порівнюватися до числового значення запобігання шкоди від неспрацьовування діючого застарілого релейного захисту.

Методика оцінювання економічного збитку залежить від електричного обладнання, для якого проводиться заміна релейного захисту. Збиток може бути у вигляді недовідпущеної продукції або у вигляді збільшення витрат від простою внаслідок перерв в енергопостачанні.

З позицій електроенергетичних підприємств збиток  $Y_{\text{зах}}$  від аварійної ситуації, визначається за таким рівнянням:

$$Y_{\text{зах}} = \Delta D_e + Y_{\text{лкв}}, \quad (6.4)$$

де  $\Delta D_e$  – недоотримані доходи від неспрацьовування діючих захистів і аварійного припинення електропостачання;

$Y_{\text{лкв}}$  – витрати, пов'язані з ліквідацією аварійної ситуації.

Величина  $\Delta D_e$  може бути визначена за звітними даними роботи підприємства за сформованого за рік рівня відмов діючих захистів. Теоретичний розрахунок цієї складової шкоди враховує такі фактори:

$$\Delta D_e = \Delta W_{\text{спож}} \cdot T_e \cdot \omega \cdot \frac{M_0}{60},$$

де  $\Delta W_{\text{спож}}$  – недовідпущена споживачам електроенергія на період відмови захистів і ліквідації аварії, кВт·год;

$T_e$  – тариф реалізації електроенергії споживачам, грн/кВт·год;

$\omega$  – параметр потоку відмов пристроїв електропостачання через неспрацьовування захистів, од.;

$M_0$  – математичне очікування часу припинення енергопостачання у разі неспрацювання діючих захистів, хв.

Витрати, пов'язані з ліквідації аварій у разі неспрацювання захисту, містять:

$$Y_{\text{ЛКВ}} = K_{\text{лік.зах}} + C_{\text{ЗП}} + C_{\text{ТР}}, \quad (6.5)$$

де  $C_{\text{ЗП}}$  – витрати на заробітну плату бригади, що ліквідує аварійну ситуацію.

$C_{\text{ТР}}$  – витрати на спецтранспорт, який використовується під час виїздів на ліквідацію аварій;

$K_{\text{лік.зах}}$  – ліквідна вартість старого обладнання.

$$E_{\text{зах}} = Y_{\text{зах}} - (C_{\text{пот.зах}} + E_{\text{НТ}} \cdot K_{\text{зах}}). \quad (6.6)$$

Реальний термін окупності придбання або створення нового захисту розраховується за формулою

$$T_{\text{ОК}} = \frac{K_{\text{зах}}}{Y_{\text{зах}} - C_{\text{пот.зах}}}. \quad (6.7)$$

Економічне обґрунтування впровадження удосконаленої схеми захисту.

На блоці генератор-трансформатор встановлюємо релейний захист на базі мікропроцесорних реле. Ліквідна вартість старої комірки  $K_{\text{лік.зах}} = 300$  (тис. грн).

### Годинний обсяг відпуску електроенергії споживачам

$\Delta W_{\text{спож}} = 1000 \cdot \text{мВт} \cdot \text{год.}$  – годинний обсяг відпуску електроенергії споживачам.

$T_e = 2,64 \text{ грн / кВт год}$  – тариф на електроенергію.

$K_{\text{зах}} = 800 \text{ грн}$  – вартість нової шафи.

На ліквідацію однієї аварії внаслідок спрацювання захисту обмотки статора від зовнішніх несиметричних коротких замикань та симетричних перенавантажень в блоці генератор-трансформатор, в системі основного обладнання захисту турбогенератора ТВВ-1000-4УЗ бригадою з двох електромонтерів було витрачено 3 години понаднормової роботи. Середня годинна ставка двох електромонтерів – 55,32 грн/год. Вартість одного виїзду до місця аварії – 1000 грн.

1. Під час монтажу працювали 1 інженер та 8 монтерів, час монтажу та налагодження захистів блока генератор-трансформатор становило 22 дні. Заробітна плата інженера та монтерів становить 100 000 гривень.

$$K_{\text{мнж}} = 22 \cdot 9 \cdot \frac{100000}{168} = 117,85(\text{тис.грн.}),$$

$$K_{\text{зах}} = 800 + 117,85 = 917,85(\text{тис.грн.}),$$

де  $Z_{\text{міс}}$  – середня місячна заробітна плата або оклад  $j$ -працівника залежно від розряду або категорії його кваліфікації;

$T_{\text{міс}}$  – нормативний місячний фонд робочого часу, год, усереднено береться в розмірі 168 год (21 день).

2. Визначаємо річні поточні витрати ( $C_{\text{пот.зах}}$ ) на експлуатацію нового захисту за норми витрат на поточне обслуговування  $H_{\text{обс}} = 0,5\%$  та гарантованого терміну експлуатації нового мікропроцесорного захисту  $t_{\text{сл}} = 20$  років.

$$C_{\text{обс}} = 917,85 \cdot \frac{0,5}{100} = 4,59 \text{ тис.грн.}$$

$$C_a = \frac{917,85}{12} = 76,49 \text{ тис.грн.}$$

$$C_{\text{пот.зах}} = 4,59 + 76,49 = 81,08 \text{ тис.грн.}$$

3. Визначаємо збитки від недовідпуску електроенергії у разі відмови старого захисту

$$\Delta D_e = 816000 \cdot 2,64 \cdot 2 \cdot \frac{120}{60} = 8616,96 \text{ тис.грн,}$$

4. Визначаємо витрати на ліквідацію аварій

$$C_{\text{зп}} = 2 \cdot 55,32 \cdot 40 = 4,42 \text{ тис.грн.}$$

$$C_{\text{тр}} = 1000 \cdot 11 = 11 \text{ тис.грн.}$$

$$Y_{\text{ЛКВ}} = 4,42 + 11 + 300 = 314,42 \text{ тис.грн.}$$

5. Визначаємо термін окупності установлення нової шафи захисту, років:

$$T_{\text{ОК}} = \frac{917,85}{314,42 - 81,08} = 3,93 \text{ років.}$$

Висновок до шостого розділу

Розрахунки економічних показників заміни застарілого електромеханічного релейного захисту на новий мікропроцесорний захист на прикладі релейного захисту блока генератор-трансформатор свідчать про те, що термін окупності такої заміни 3,93 року. Отже такі заходи економічно виправдані.

## ВИСНОВКИ

Магістерська кваліфікаційна робота присвячена захисту блока генератор-трансформатор з турбогенератором ТВВ-1000. На основі ґрунтового дослідження структури, принципів роботи турбогенератора та особливості його конструкцій описано ключові аспекти його функціонування.

1. Вивчення конструкції генератора ТВВ-1000 показало, що його висока потужність та ефективність, а також компактні розміри, які роблять його основоположником для генерації більшої частини енергетичної системи із високим навантаженням.

2. Доведено важливість електромеханічного та мікропроцесорного релейного захисту, які забезпечують захист від багатофазних коротких замикань в обмотці статора та на його виводах, захист від замикань на землю, захист обмотки статора від зовнішніх симетричних коротких замикань та захист обмотки статора від зовнішніх несиметричних КЗ і симетричних перенавантажень, захист ротора від перевищення струму збудження, захист від асинхронного режиму за втрати збудження, захист від підвищення напруги на затискачах турбогенератора та трансформатора, захист ротора від перенавантаження струмом збудження, захист від замикань на землю в одній точці кола ротора, захист від усіх випадків КЗ в обмотках трансформатора, на його затискачах, ошиновуванні високої напруги та міжфазних КЗ в обмотці статора і т. д, що захищають цей пристрій від усіх випадків аварій в генерації електроенергії.

3. Аналіз переваг мікропроцесорних захистів порівняно із електромеханічними пристроями захисту у застосуванні для блока генератор-трансформатор підкреслив, що мікропроцесорний захист містить в собі; кращу швидкість реакції, гнучкість та програмованість, великий функціональний обсяг, точність та надійність, зворотний зв'язок, селективність, запис даних та функцію віддаленого керування. Мікропроцесорний захист визнано перспективним засобом захисту електричних систем, що забезпечує високий рівень автоматизації, захисту та контролю стану генератора

4. В МКР роботі визначений термін окупності мікропроцесорного захисту серії REG-670. Було підтверджено можливість підвищення надійності, чутливості та ефективності захисту блока турбогенератор-трансформатор-лінія за короткий термін окупності.

5. У розділі охорони праці визначено важливі аспекти та запропоновано заходи для забезпечення безпеки персоналу під час роботи з електричними машинами, синхронними генераторами, монтажем релейного захисту та іншими електротехнічними пристроями. Рекомендації щодо безпеки в надзвичайних ситуаціях охоплюють організаційні та технічні заходи, спрямовані на запобігання та ліквідацію негативних наслідків.

6. Результати впливу іонізуючого випромінювання та електромагнітних імпульсів на роботу релейного захисту блока генератор-трансформатор свідчать про впровадження заходів з охорони праці для персоналу. Враховуючи високу вразливість елементів обладнання до іонізувального випромінювання, важливо розробити та впровадити стратегії мінімізації ризиків..

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бардик Є. І. «Експлуатація та режими роботи електростанцій» : навчальний посібник / Бардик Є. І. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 73 с.
2. Бардик Є. І. Електрична частина станцій та підстанцій. Основне електрообладнання : навчальний посібник / Є. І. Бардик, М. П. Лукаш. – Київ : НТУУ «КПІ», 2011. – 220 с.
3. Klemptner G. Handbook of Large Turbo-Generator Operation and Maintenance, Third Edition / G. Klemptner, I. Kerszenbaum. – Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2018. – 32 p.
4. Kiameh P. Power plant equipment operation and maintenance guide, 1st Edition / P. Kiameh – New York City : McGraw-Hill Professional Publishing, 2012. – 770 p.
5. Wood A. J. Power Generation, Operation, and Control, 3rd Edition / Wood A. J., Wollenberg B. F., Sheblé G. B. – Hoboken, New Jersey : John Wiley & Sons, Inc., 2014. – 656 p.
6. Бардик Є. І. Електрична частина станцій та підстанцій. Синхронні генератори : навчальний посібник / Є. І. Бардик, М. П. Лукаш. – Київ : НТУУ «КПІ», 2008. – 100 с.
7. Кідиба В. П. Релейний захист електроенергетичних систем : підручник / Кідиба В. П. – Львів : Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2015. – 504 с.
8. Букович Н. В. Протиаварійна режимна автоматика електроенергетичних систем : навч. посіб. / Букович Н. В. – Львів : Видавництво «Бескід Біт», 2003. – 224 с.
9. Рубаненко О. Є. Релейний захист та автоматика електричних станцій : навчальний посібник / Рубаненко О. Є., Рубаненко О. О., Гунько І. О. – Вінниця : ВНТУ, 2023. – 123 с.

10. Рубаненко О. Є. Релейний захист та автоматика двотрансформаторної підстанції : навчальний посібник / О. Є. Рубаненко, В. М. Лагутін. – Вінниця : ВНТУ, 2005. – 124 с.

11. Кутін В. М. Релейний захист електричних станцій : навчальний посібник / Кутін В. М., Рубаненко О. Є., Лагутін В. М. – Вінниця : ВНТУ, 2007. – 110 с.

12. Релейний захист електроенергетичних систем : підручник / [Є. І. Сокол, Г. А. Сендерович, О. Г. Гриб та ін.] – Харків, 2020. – 306 с.

13. Козярьський Д. П. Основи релейного захисту та автоматизації енергосистем : навчальний посібник / Козярьський Д. П., Майструк Е. В., Козярьський І. П. – Чернівці : Чернівецький національний університет, 2019. – 133 с.

14. Лежнюк П. Д. Розширення можливостей мікропроцесорних пристроїв // Вісник Кременчукського державного політехнічного університету : статті / П. Д. Лежнюк. – Кременчук : КДПУ, 2004. – С. 119–121.

15. Яндульський О. С. Релейний захист. Цифрові пристрої релей захисту, автоматики та управління енергетичними системами : навчальний посібник / О. С. Яндульський, О. О. Дмитренко. – К. : НТУУ«КПІ», 2016. – 102 с.

16. Дембіцька С. В. Методичні вказівки до виконання розділу з охорони праці в кваліфікаційних роботах здобувачів освітнього ступеня магістра галузі знань 14 «Електрична інженерія» / уклад. Дембіцька С. В., Кобилянська І. М., Кобилянський О. В. – Вінниця : ВНТУ, 2022. – 52 с.

17. ДСТУ-Н Б А 3.2-1: 2007. Настанова щодо визначення небезпечних і шкідливих факторів та захисту від їх впливу при виробництві будівельних матеріалів і виробів та їх використання в процесі зведення та експлуатації об'єктів будівництва. [Чинний від 2007-12-01]. URL: <https://profidom.com.ua/a-3/a-3-2/824-dstu-n-b-a-3-2-12007-nastanova-shhodo-viznachenna-nebezpechnih-i-shkidlivih-faktoriv->.



18. ДБН А.3.2-2-2009. ССБП. Охорона праці і промислова безпека у будівництві. Основні положення. [Чинний від 2009-01-27]. Вид. офіц. К. : Мінрегіонбуд України, 2009. 116 с.

19. ДСТУ Б В.2.5-82:2016. Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом. [Чинний від 2017-04-01]. Вид. офіц. К. : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 109 с.

20. Методичні вказівки до виконання магістерських кваліфікаційних робіт для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» (освітня програма «Електричні станції») [Електронний ресурс] / уклад. Лежнюк П. Д., Комар В. О., Тептя В. В. – Вінниця : ВНТУ, 2023. – 96 с.

21. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. Постанова МОЗ № 42 від 01.12.1999. [Чинний від 1999-12-01]. URL: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1972>.

22. ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвuku та інфразвuku. Постанова МОЗ № 37 від 01.12.1999. [Чинний від 1999-12-01]. URL: <http://document.ua/sanitarni-normi-virobnichogo-shumu-ultrazvuku-ta-infrazvuku-nor4878.html>.

23. ДСНіП «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу». Наказ МОЗ № 248 від 08.04.2014. [Чинний від 2014-05-30]. URL: [http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=58073](http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=58073).

24. Рубаненко О. Е., Мазур І. М. Особливості сучасного релейного захисту турбогенераторів 1000 МВт. // ЛІІІ Наук.-тех. конф. факультету електроенергетики та електромеханіки : веб-сайт. (2023) URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-feeem/all-feeem-2023/paper/view/16739>

## **ДОДАТКИ**

## ДОДАТОК А

### ПРОТОКОЛ

#### ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: Релейний захист блоку генератор-трансформатор з генератором ТВВ-1000

Тип роботи: Магістерська кваліфікаційна робота  
(БДР, МКР)

Підрозділ кафедра електричних станцій та систем, факультет електроенергетики та електромеханіки  
(кафедра, факультет)

#### Показники звіту подібності Unicheck

Оригінальність \_\_\_\_\_ Схожість \_\_\_\_\_

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне):

- 1. Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.
- 2. Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її виконання автором. Роботу направити на розгляд експертної комісії кафедри.
- 3. Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Особа, відповідальна за перевірку \_\_\_\_\_ Вишневський С.Я.  
(підпис) (прізвище, ініціали)

Ознайомлені з повним звітом подібності, який був згенерований системою Unicheck щодо роботи.

Автор роботи \_\_\_\_\_  
(підпис)  
Керівник роботи \_\_\_\_\_  
(підпис)

Мазур І.М.  
(прізвище, ініціали)  
Рубаненко О.Є  
(прізвище, ініціали)



## ДОДАТОК Б

### Технічне завдання МКР

Міністерство освіти і науки України  
Вінницький національний технічний університет  
Факультет електроенергетики та електромеханіки  
Кафедра електричних станцій і систем

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри ЕСС  
д.т.н., професор  
\_\_\_\_\_ В. О. Комар  
(підпис)  
« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2023 р.

### ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на виконання магістерської кваліфікаційної роботи  
на тему: РЕЛЕЙНИЙ ЗАХИСТ БЛОКА ГЕНЕРАТОР-ТРАНСФОРМАТОР З  
ГЕНЕРАТОРОМ ТВВ-1000  
08–21.МКР.008.00.004 ТЗ

Керівник: \_\_\_\_\_  
наук. ступінь, учене звання, посада

\_\_\_\_\_ (підпис)

\_\_\_\_\_ (прізвище, ініціали)

Студент групи \_\_\_\_\_

1ЕС –22м  
назва групи

\_\_\_\_\_ (підпис)

Мазур І.М.  
(прізвище, ініціали)

Вінниця ВНТУ – 2023 р.

## **1. Підстава для виконання магістерської кваліфікаційної роботи (МКР)**

а) актуальність проведення цього дослідження визначається в контексті сучасних викликів, пов'язаних з генерацією електроенергії тепловими електростанціями. Генераторно-трансформаторний блок являє собою дороговартісне обладнання, поломка чи виведення з ладу якого призводить до великих втрат. Враховуючи сталість цієї проблеми, питання вдосконалення релейних захистів блока генератор-трансформатор 24/330 кВ є актуальним.

б) наказ ректора ВНТУ № 247 від «18» вересня 2023 р. про затвердження теми магістерської кваліфікаційної роботи.

## **2. Мета і призначення МКР**

а) Метою магістерської кваліфікаційної роботи є вдосконалення захистів блока генератор-трансформатор з генератором ТВВ 1000;

б) призначення розробки – для підтвердження рівня кваліфікації автора магістерської кваліфікаційної роботи

## **3. Джерела розробки**

Список використаних джерел розробки:

1. Застосування цифрових тестових систем для перевірки дистанційних захистів / П.М. Баран, В.П. Кідиба, Я.Д. Пришляк, М.І. Дембіцький, В.М. Шмагала // Вісник Національного університету "Львівська політехніка" "Електроенергетичні та електромеханічні системи". – 2013. – № 763. – С. 3-9.

2. Пат. 73067 UA, МПК H02H 3/24. Пристрій захисту електричної розподільної мережі з ізольованою або компенсованою нейтраллю від обриву проводу в фазі [Текст] / М. В. Кутіна (Україна). – № u201202350 ; заявл. 28.02.2012 ; опубл. 10.09.2012, Бюл. № 17. – 8 с.

3. Методи і засоби захисту від обриву проводу та пошук місця пошкодження в розподільній мережі зі складною топологією напругою 6–35 кВ [Текст] : монографія / П. Д. Лежнюк, М. В. Кутіна. — Вінниця : ВНТУ, 2014. — 154 с. – ISBN 978–966–641–561–8.

## **4. Технічні вимоги до виконання МКР**

Передбачається мікропроцесорний релейний захист блока генератор-трансформатор 24/330 кВ.

– технічне завдання: дослідити та порахувати уставки релейних захистів (уставки максимального струмового захисту блока генератор-трансформатор 24/330 кВ).

– елементна база: релейний захист блока генератор-трансформатор 330 кВ типу REG 670

– конструктивне виконання: в металевих корпусах.

– живлення об'єкта: від мережі оперативної змінної, або постійної напруги 220 В .

## **5. Економічні показники**

Визначити основні техніко–економічні показники пов'язаних із заміною застарілого релейного захисту новим мікропроцесорним захистом.

## 6. Етапи МКР та очікувані результати

Ч.ч.	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Термін виконання		Очікувані результати
		початок	кінець	
1	2	3	4	5
1	Формування та затвердження теми МКР. Розроблення технічного завдання	01.09.2023	06.09.2023	формування технічного завдання
2	Вступ. Огляд літературних джерел	07.09.2023	12.09.2023	аналітичний огляд літературних джерел, задачі досліджень
3	Виконання аналітичної частини МКР (розділ 1 МКР)	13.09.2023	05.10.2023	розділ 1 ПЗ
4	Виконання теоретичної частини МКР (розділ 2 МКР)	06.10.2023	20.10.2023	розділ 2
5	Виконання практичної частини МКР (розділ 3 МКР)	21.10.2023	01.11.2023	розділ 3
6	Виконання розділу з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях (розділ 4 МКР)	02.11.2023	08.11.2023	розділ 4
7	Виконання економічної частини (розділ 5 МКР)	09.11.2023	15.11.2023	розділ 5
8	Формування висновків по роботі	16.11.2023	18.11.2023	висновки МКР
9	Оформлення пояснювальної записки	19.11.2023	26.11.2023	Пояснювальна записка
10	Виконання графічної частини та оформлення презентації	27.11.2023	04.12.2023	плакати, презентація
11	Перевірка МКР на плагіат. Попередній захист МКР	05.12.2023	10.12.2023	Результат перевірки на плагіат, відгук керівника
12	Опонування МКР	11.12.2023	19.12.2023	Відгук опонента
	Захист МКР	III декада грудня		Доповідь та відповіді на запитання

## **7. Очікувані результати**

Як результат виконання магістерської кваліфікаційної роботи очікується, що впровадження сучасних мікропроцесорних захистів підвищить якості експлуатації генераторно-трансформаторних блоків.

## **8. Матеріали, що подаються до захисту МКР**

Пояснювальна записка МКР (паперовий екземпляр), ілюстративні матеріали, відгук наукового керівника, відгук опонента, анотації до МКР українською та іноземною мовами, протокол перевірки МКР на наявність текстових запозичень.

## **9. Порядок контролю виконання та захисту МКР**

Виконання етапів розрахункової документації МКР контролюється науковим керівником та завідувачем кафедри ЕСС згідно зі встановленими термінами. Захист МКР відбувається на засіданні екзаменаційної комісії, затвердженої наказом ректора.

## **10. Вимоги до оформлення МКР**

Вимоги викладені в «Положенні про кваліфікаційні роботи на другому (магістерському) рівні вищої освіти. СУЯ ВНТУ–03.02.02–П.001.01:2, 2021 р.

## **11. Вимоги щодо технічного захисту інформації в МКР з обмеженим доступом**

Відсутні.



ДОДАТОК В  
Габарити генератора ТВВ-1000-4УЗ

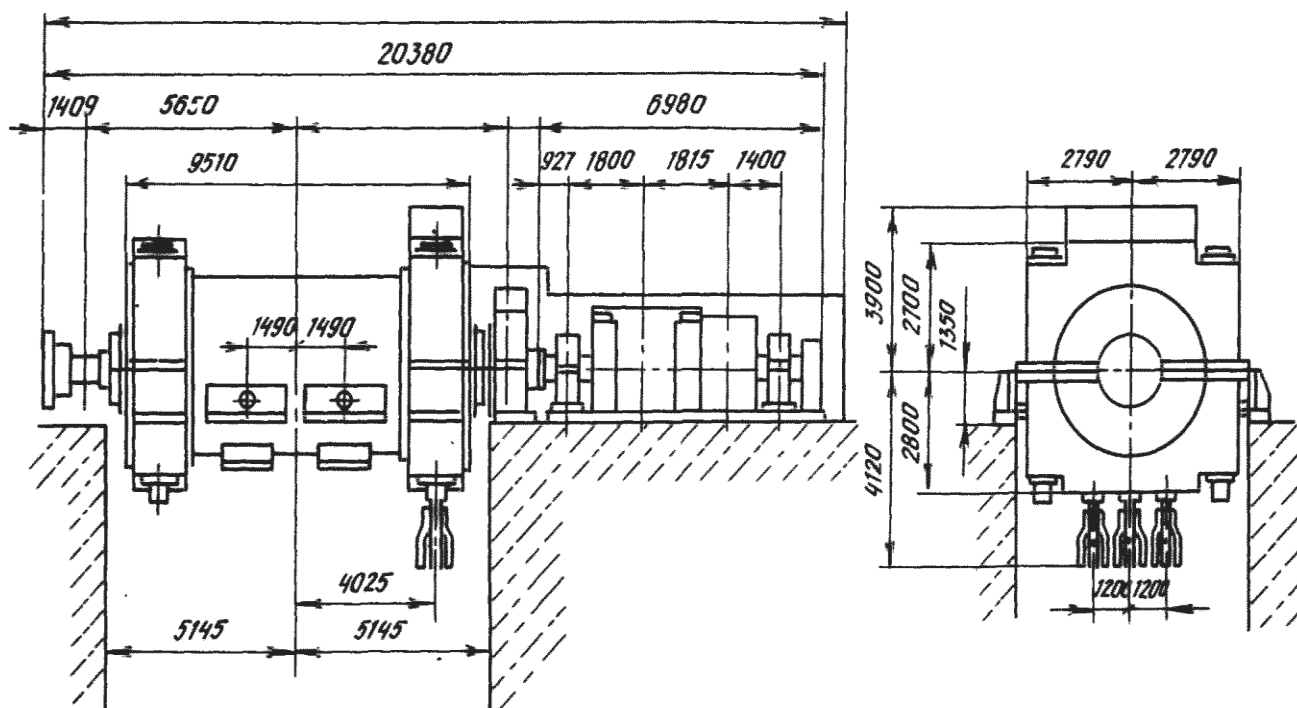


Рисунок В.1 – Габаритні розміри турбогенератора ТВВ-1000-4УЗ та збудника БВД-4600-1500-УЗ

Цей генератор хоча і має високу потужність, є компактним порівняно з іншими генераторами великої потужності. Ця компактність пов'язана з цікавими інженерними рішеннями та технологічними особливостями. Висока ефективність використання простору: генератор ТВВ-1000-4УЗ розроблений із урахуванням максимально ефективного використання доступного простору. Оптимізована конструкція дозволяє помістити велику генерувальну потужність у маленькому корпусі. За рахунок мінімізації втрат тепла ефективні системи охолодження та ізоляції дозволяють зменшити розміри генератора, водночас не забираючи продуктивність. Компактна конструкція охолодження створена так, що вона повністю забезпечить високу продуктивність, надійність та компактність цієї машини. Водночас сам генератор був збудований за рахунок високої технологічної обробки компонентів, цільності розміщень обмоток та використання трубопроводів охолодження, високоякісні матеріали сприяють тривалій експлуатації машини та мінімізації втрат механічної енергії.

## ДОДАТОК Г

### Електромеханічний релейний захист обмотки ротора генератора від перенавантаження струмом збудження

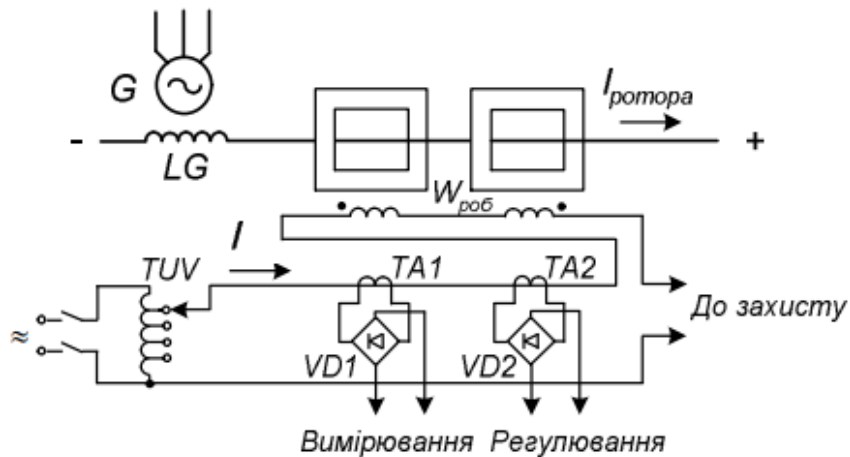


Рисунок Г.1 – Давач струму ротора з застосуванням трансформатора постійного струму

Контроль струму збудження генератора виконується за допомогою константової вставки. Нижче надано розшифровку використовуваних термінів та пояснення принципу роботи.

Константова вставка. Константан (також відомий як ніхром): матеріал, який має постійний електричний опір в широкому діапазоні температур. Порівняно з міддю константан менше змінює свій опір за зміни температури, що робить його корисним для вимірювань високих температур.

Принцип роботи Вставка константану: малий шматок константану впаюється або вбирається в обмотку збудження генератора. Така вставка вибирається через те, що її електричний опір практично не змінюється від 20 до 120 °С.

Контроль напруги: спад напруги на константановій вставці вимірюється за допомогою мілівольтметра.

Контроль струму: величина струму, отримана з вимірювань, використовується для контролю стану обмотки ротора. Якщо струм

перевищує допустимі значення, це може свідчити про перегрівання, що може спричинити передчасне старіння та пробій ізоляції обмотки.

Трансформатор постійного струму та індукційний короткозамкнений давач струму використовуються для вимірювання струму обмотки ротора в генераторах з тиристорними чи високочастотними системами збудження. Розглянемо обидва випадки.

Принцип роботи. Трансформатор постійного струму працює як магнітний підсилювач. Струм ротора проходить через стрижень, що знаходиться у магнітному полі. Це створює змінну магнітну індукцію, яка використовується для індукції напруги в обмотці трансформатора.

Робочий принцип. Обмотки на різних магнітопроводах з'єднуються паралельно або послідовно, залежно від номінального струму ротора. Отримана напруга відображає струм ротора та використовується для подальшого контролю чи захисту.

Такий трансформатор може використовуватися для вимірювання струму в системах збудження, де величина струму ротора може перевищувати значення, які можуть бути ефективно виміряні за допомогою константаної вставки.

#### Індукційний короткозамкнений давач струму

Принцип роботи. Цей тип давача використовує електромагнітні принципи. Струм, що протікає через обмотку, створює магнітне поле, яке впливає на індуктивно розташований датчик.

Робочий принцип. Зміна струму в обмотці генерує змінний магнітний потік, який створює індукційну напругу в сенсорі. Ця напруга використовується для вимірювання або контролю струму ротора.

Призначення. Такий давач може бути ефективним у високочастотних або безщіткових системах збудження, де струм може мати високу частоту та швидкі зміни.

Обидва ці пристрої дозволяють вимірювати струм ротора та використовуються для контролю температури.

Використання трансформатора постійного струму (ТПС) та індукційного короткозамкненого давача струму для вимірювання струму обмотки ротора в генераторах

#### Трансформатор постійного струму (ТПС)

Принцип роботи. ТПС працює на основі магнітного підсилювача, де струм ротора проходить через стрижень у магнітному полі. Зміна магнітного поля викликає індукцію напруги в обмотці трансформатора.

Підключення вторинного навантаження. Інше навантаження, таке як захист, кола вимірювання та регулювання, підключають до робочої обмотки ТПС.

Джерело живлення. Напруга з джерела живлення через автотрансформатор TUV підводиться до робочої обмотки ТПС.

#### Індукційний короткозамкнений давач струму

Принцип роботи. Індукційний давач струму використовує електромагнітні принципи. Проходження струму через обмотку генератора викликає магнітне поле, яке впливає на індуктивно розташований датчик.

Вимірювання струму. Зміна струму в обмотці генерує змінний магнітний потік, який використовується для вимірювання або контролю струму ротора.

Безпоціткова система збудження. Для безціткової системи збудження, де важко контролювати струм збудження, використовують індукційний давач струму. Цей давач охоплює вал генератора, і індукований струм використовується для вимірювань та захисту.

В обох випадках зазначено, що параметри пристроїв обрані таким чином, щоб забезпечити необхідну точність вимірювань та функціонування систем вимірювань, регулювання та захисту. Похибка для ТПС не перевищує 1,53%, що вказує на її достатню точність.

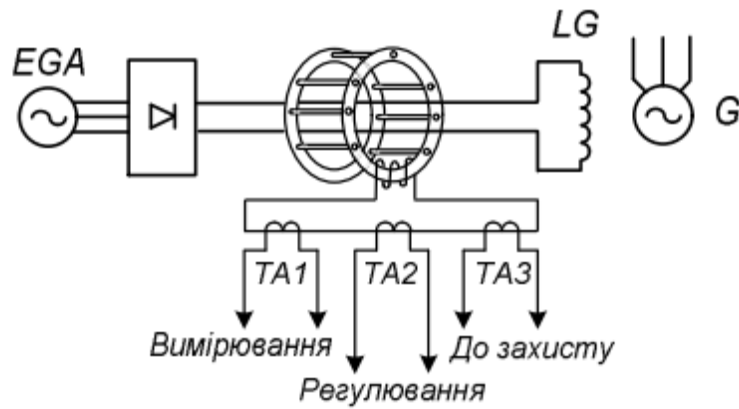


Рисунок Г.2 – Індукційний давач струму в обмотці ротора

### Захист РЗР-1М для генераторів високої потужності

РЗР-1М має два ступені захисту. Залежний від кратності струму перевантаження. Діє на розбудження генератора через систему автоматичного регулювання струму збудження.

Інший ступінь також має залежну від кратності струму перевантаження витримку часу. Діє на аварійне вимкнення генератора від мережі.

Витримки часу для двох ступенів захисту за тих самих струмів відрізняються на 20%. Це означає, що перший ступінь витримує перевантаження протягом більшого часу порівняно з іншим ступенем.

Мета захисту – захист ротора від перевантаження, що може виникнути під час роботи генератора. Автоматичне регулювання струму збудження – перший ступінь взаємодіє із системою автоматичного регулювання струму збудження для зменшення навантаження на ротор генератора.

Аварійне вимкнення – включає аварійне вимкнення генератора у разі, якщо перевантаження залишається нескладним.

Цей захист РЗР-1М є важливим компонентом для забезпечення безпеки та ефективної експлуатації генераторів на електростанціях з високою потужністю.

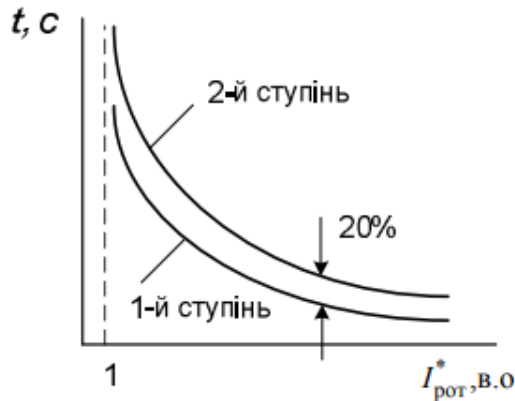


Рисунок Г.3 – Характеристики захисту від перенавантаження обмотки ротора струмом збудження.

Структура пристрою захисту типу РЗР-1М (рис. М.4):

Вхідний перетворювальний пристрій (ВПП). Призначений для налагодження вхідних кіл РЗР-1М на вторинний номінальний струм обмотки ротора. Відповідає за перетворення змінного струму у випростувану вирівнювану та згладжену напругу.

Основні органи захисту

Сигнальний орган (СО). Отримує згладжену напругу від вхідного перетворювального пристрою, має уставку спрацювання.

Пусковий орган (ПО). Також отримує згладжену напругу від ВПП. Має свою уставку спрацювання для вживання необхідних заходів у разі перевантаження.

Інтегральний орган (ІО). На нього також подається напруга від ВПП. Має свою уставку спрацювання.

Уставки спрацювання. Кожен з основних органів захисту (СО, ПО, ІО) має власну уставку спрацювання. Ці уставки визначають, за яких умов та в якому режимі мають активуватися відповідні захисні заходи.

Мета пристрою захисту РЗР-1М. Захист ротора генератора від перевантаження та надмірного навантаження.

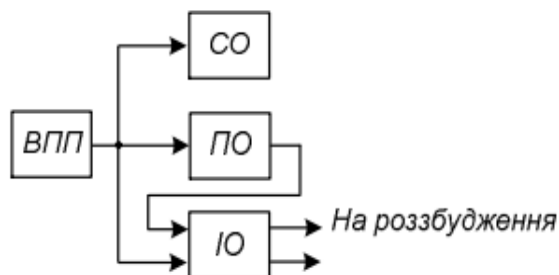


Рисунок Г.4 – Структура пристрою захисту типу РЗР-1М

Захист РЗР-1М виготовляють у двох модифікаціях з різним часом допустимого дворазового перевантаження за струмом збудження: 20 с та 30 с. Це означає, що одна модифікація має найкоротший час витримки, а інша – довший. Це пов'язано з конкретними технічними характеристиками генераторів та їхньою роботою в системі.

Описані вище параметри та характеристики захисту РЗР-1М, такі як уставки часу та струму, враховуються для забезпечення ефективного та надійного захисту генератора від перевантажень та перегріву обмотки ротора.

ДОДАТОК Д  
Електромеханічний релейний захист обмотки статора генератора від  
підвищення напруги

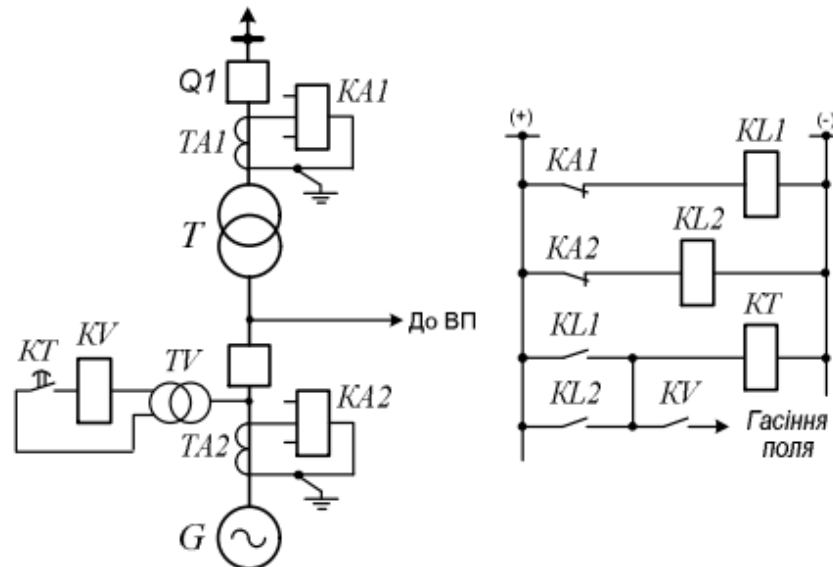


Рисунок Д.1 – Схема захисту генератора від підвищення напруги

Захист РН-58/200 (РН-58/200М) призначений для запобігання пробую обмотки статора генератора внаслідок підвищення напруги під час роботи генератора на неробочому ході. Захист діє на гасіння поля генератора.

Принципова схема захисту містить реле максимальної напруги (KV), яке контролює рівень міжфазної напруги на виводах генератора. Реле максимальної напруги блокується за відсутності струму в обмотці статора генератора, тобто під час роботи генератора на неробочому ході. Контроль струму здійснюється трифазними реле струму КА1 та КА2, які перевіряють наявність струмів у всіх фазах. Реле спрацьовує, якщо відсутній струм у всіх фазах.

Після вимкнення блочного вимикача Q1 або генераторного вимикача Q2, відповідно, реле КА1 чи КА2 замикає контакт, подаючи живлення до проміжного реле KL1. Реле KL1 спрацьовує та запускає реле часу КТ, яке з витримкою часу замикає контакт у колі живлення реле максимальної напруги



KV. Якщо напруга на виводах генератора підвищена, реле максимальної напруги KV спрацьовує, надсилаючи команду на гасіння поля генератора.

Ця схема забезпечує надійний захист генератора від перевищення напруги під час його неробочого ходу, що є важливою мірою для запобігання пошкодженню обмотки статора генератора.

## Додаток Е

### Технічні рішення щодо безпечної організації робочих місць

Підготовка робочого місця і допуск до виконання робіт з монтажу пристроїв для контролю ізоляції здійснюється оперативним персоналом електричних станцій і підстанцій [21, 24].

Підготовка робочих місць і допуск можуть проводитись тільки з дозволу оперативних працівників, а на підприємствах, де таких працівників немає – з дозволу особи, яка видала наряд чи розпорядження за узгодженням з особою, відповідальною за електрогосподарство.

Після інструктажу допускача бригаду має проінструктувати керівник робіт щодо безпечного виконання робіт, використання інструменту, пристосувань, механізмів і вантажопідіймальних машин.

Без проведення інструктажу допуск бригади забороняється.

Проведення інструктажу і допуски оформляються підписами допускача і керівника робіт (наглядача) (в таблиці 3 наряду) із зазначенням дати і часу.

Допуск оформлюється в обох примірниках наряду, з яких один залишається у керівника робіт (наглядача), а другий – у допускача.

Коли керівник робіт суміщає обов'язки допускача, допуск оформлюють в одному примірнику наряду.

Під час роботи за розпорядженням час допуску реєструють в журналі обліку робіт за нарядами і розпорядженнями.

## Додаток Ж

### Електробезпека

Тип електромережі, що контролюється: трипровідна мережа змінного струму напругою 6–35 кВ. Категорія умов з небезпеки електротравматизму – з підвищеною небезпекою, через наявність струмопровідної підлоги.

Основні технічні засоби і заходи забезпечення електробезпеки за нормального режиму роботи електроустановок містять:

- ізоляцію струмопровідних частин;
- недоступність струмопровідних частин;
- засоби орієнтації в електроустановках;
- виконання електроустановок, ізольованих від землі;
- захисне розділення електричних мереж;
- компенсацію ємкісних струмів замикання на землю;
- вирівнювання потенціалів.

Електроінструмент, переносні лампи, знижувальні трансформатори і перетворювачі частоти струму необхідно перевіряти один раз на місяць на відсутність замикання на корпус, цілісність заземлювального контуру, цілісність ізоляції живильних проводів та відсутність оголених струмопровідних частин. Переносні трансформатори необхідно перевіряти також на відсутність замикання між обмотками високої і низької напруги.

Додаток И  
Мікроклімат

Параметри мікроклімату в виробничому приміщенні [25], де встановлено лінія, наведено в таблиці Р.1.

Таблиця И.1 – Нормування параметрів мікроклімату на непостійних робочих місцях

Період року	Категорія робіт	Температура, °С	Відносна вологість	Швидкість руху
Теплий	Пб	15-29	70 при 25°С	0,2-0,5
Холодний	Пб	13-23	не більше 75	не більше 0,4

Для забезпечення потрібних за нормативами параметрів мікроклімату проектом передбачено [7]:

1. Утеплення фасаду будівлі.
2. Встановлення вентиляції приміщень.

## Додаток К

### Склад повітря робочої зони

В умовах, що розглядаються в роботі, можливим забруднювачем повітря може бути пил нетоксичний [25].

Характерні забруднювальні речовини для виробничого приміщення наведено в таблиці 3.1.

Таблиця К.1 – Характерні забруднювальні речовини для виробничого приміщення

Найменування речовини	ГДК, мг/м <sup>3</sup>		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньодобова	
Пил нетоксичний	0,5	0,15	4

Для забезпечення складу повітря робочої зони в роботі передбачені такі рішення [25]: робочі місця, де можливе виділення пилу, обладнано вентиляційними пристроями, які мають бути постійно готовими до роботи; будь-які порушення у системі вентиляції відображаються попереджувальними сигнальними пристроями; установки для кондиціонування повітря або механічні вентиляційні установки під час їх роботи не створюють для працівників протягів.

Додаток Л  
Виробниче освітлення

Штучне освітлення в будівлі запроєктовано загальне – освітлення, за якого світильники розміщуються рівномірно у верхній зоні приміщення (загальне рівномірне освітлення). Характеристика зорових робіт – середньої точності. Відповідно до ДБН В.2.5-28-2018 [9] розряд зорової роботи IV, підрозряд «г».

Нормовані значення виробничого освітлення наведено в таблиці Т.1.

Для забезпечення нормованого значення освітлення у проекті передбачено:

- використання природного та штучного освітлення;
- штучне освітлення має бути рівномірним та достатньо інтенсивним;
- світло не має створює різких тіней на місцях роботи, значних контрастів між освітленим робочим місцем і навколишньою простором;
- штучне світло не створює зайвих відблисків у полі зору працівника.

Таблиця Л.1 – Вимоги до освітлення приміщень виробничих підприємств

Х-ка зорової роботи	Найменший або еквівалентний розмір об'єкта розрізнення, мм	Розряд зорової роботи	Під-розряд зорової роботи	Контраст об'єкта з фоном	Х-ка фону	Штучне за системи комбінованого освітлення		Природне Ен пр	Сумісне Е сум
						всього	у т. ч. від загального		
Середньої точності	Від 0,5 до 1,0 вк лючно	V	г	середній великий великий	світлий світлий середній	-	200	4	2,4

Додаток М  
Виробничий шум

Джерелами шуму, що розглядаються в роботі, для працівників є шум будівельних машин і механізмів. Допустимі рівні звукового тиску і рівні звуку для постійного (непостійного) широкосмугового (тонального) шуму наведено в таблиці У.1.

Таблиця М.1 – Допустимі рівні звукового тиску і рівні звуку для постійного (непостійного) широкосмугового (тонального) шуму

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах з середньгеометричними частотами (Гц)									Допустимий рівень звуку, дБА
	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Основні виробничі приміщення	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

Для забезпечення допустимих параметрів шуму (поліпшення шумового клімату) в приміщенні проектом передбачено:

- раціональне розташування робочих місць;
- постійний контроль режиму праці і відпочинку працівників;
- обмеження застосування обладнання та використання робочих місць, що не відповідають санітарно-гігієнічним вимогам [26].

## Додаток Н

### Психофізіологічні фактори

Психофізіологічні фактори визначаються відповідно до Гігієнічної класифікації праці [27]. Робота проєктувальника не потребує великих фізичних зусиль за важкістю та напруженістю праці.

1. Клас умов праці за показниками важкості праці – допустимий (середньої важкості): загальні енергозатрати організму (кґ/м) – до 290; стереотипні робочі рухи: за локального навантаження (участь м'язів кистей та пальців рук) – до 40000; за регіонального навантаження (участь рук та плечового суглоба) – до 20000; статичне навантаження (кґ/с): двома руками (чоловіки) – до 70000; за участю м'язів тулуба та ніг – до 100 000; робоча поза: періодичне перебування в незручній позі (робота з поворотом тулуба, незручним розташуванням кінцівок) та/або у фіксованій позі (неможливість зміни взаємного розташування різних частин тіла одна відносно одної) до 25% часу зміни; перебування у вимушеній позі до 10%, нахил тулуба: вимушені нахили протягом зміни – 51–100 разів.

2. Клас умов праці за показниками напруженості праці

Інтелектуальні навантаження: зміст роботи – вирішення складних завдань з вибором за алгоритмом; сприймання інформації та їх оцінення – сприймання інформації з наступною корекцією дій та операцій; розподіл функцій за ступенем складності завдання – обробка, контроль, перевірка завдання; характер виконуваної роботи – робота за встановленим графіком з можливим його коригуванням під час діяльності. Сенсорні навантаження: зосередження (% за зміну) – більше 75; щільність сигналів (звукові за 1 год) – більше 300; навантаження на голосовий апарат (протягом тижня) – від 20 до 25. Емоційне навантаження: ступінь відповідальності за результат своєї діяльності – є відповідальним за функціональну якість основної роботи; ступінь ризику для власного життя – вірогідний; ступінь відповідальності за безпеку інших осіб – є відповідальним за безпеку інших. Режим праці: тривалість робочого дня – 8 год; змінність роботи – однозмінна (без нічної зміни).



## ДОДАТОК П

### ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА



Міністерство освіти та науки України  
Вінницький національний технічний університет  
Факультет електроенергетики, електротехніки та  
електромеханіки  
Кафедра ЕСС

Магістерська кваліфікаційна робота на тему:

## **РЕЛЕЙНИЙ ЗАХИСТ БЛОКУ ГЕНЕРАТОР-ТРАНСФОРМАТОР 3 ГЕНЕРАТОРОМ ТВВ-1000**

Виконав: студент 2 курсу групи ІЕС-22м  
Спеціальності 141 – «Електроенергетика,  
електротехніка та електромеханіка»  
за ОП «Електроенергетика та електротехніка»  
Мазур І.М.

Керівник: к. т. н., професор  
Рубаненко О.Є.

Вінниця 2023

### Слайд 1

#### **Актуальність**

Релейний захист відіграє ключову роль у забезпеченні безпеки, стабільності та надійності функціонування блоку генератор-трансформатор, зокрема тих, що захищають потужні турбогенератори типу ТВВ-1000. Він забезпечує вчасне виявлення та усунення різноманітних пошкоджень, які можуть виникнути в роботі турбогенератора. Цей тип обладнання відповідає за захист генератора від перенавантажень, коротких замикань, перенапруг та інших небезпечних факторів. Наведений тип блоку відіграє важливу роль у генерації електричної потужності для енергосистеми України.

Однією із багатьох причин припинення генерації синхронних турбогенераторів є помилкове спрацювання релейного захисту, через що станція зазнає величезних збитків. Електромеханічний релейний захист в більшості випадків вичерпав свій робочий ресурс, із заміною відпрацьованих електромеханічних реле виникають труднощі, оскільки з крайною постачальником обірвались усі можливі зв'язки.



2

### Слайд 2

## Актуальність Мета та завдання



Внаслідок пошкоджень елементів захисту блока генератор-трансформатор підвищується ймовірність виходу з ладу основних елементів турбогенератора. Наслідками ненадійно працюючого захисту можуть бути: перенавантаження генератора, коротке замикання, нестабільна робота станції, відключення турбогенератора в несподіваний момент, пошкодження трансформатора, комутаційних апаратів, матеріальні збитки та нараження обслуговуючого персоналу на небезпеку.

Релейний захист відіграє ключову роль у забезпеченні безпеки, стабільності та надійності функціонування блока генератор-трансформатор, зокрема тих, що захищають потужні турбогенератори типу ТВВ-1000.

Практика показала, що для забезпечення нормальної та надійної роботи синхронних генераторів потрібні засоби релейного захисту та автоматики. Релейний захист (РЗ) є необхідною частиною системи, яка забезпечує автоматичне відключення та контроль роботи турбогенераторів у випадку аварій.

Коротке замикання (КЗ) може значно впливати на роботу турбогенератора ТВВ-1000. Наприклад, різке підвищення струму в обмотках генератора, підвищення температури генератора, механічне навантаження на вал турбогенератора сприяють створенню динамічних ударів та детонуванню легкозаймистих матеріалів.

Тому потрібно покращити захист блока турбогенератор-трансформатор.

Отже, тема магістерської кваліфікаційної роботи (МКР) «Захист блока генератор-трансформатор з генератором ТВВ-1000» **є актуальною**.

### Слайд 3

## Мета та завдання



**Метою** магістерської кваліфікаційної роботи є покращення захисту блока генератор-трансформатор.

Відповідно до вказаної мети в роботі розв'язуються такі **завдання**:

- розглянути конструктивні особливості турбогенератора ТВВ-1000;
- описати основні функції електромеханічного та мікропроцесорного захисту;
- дослідити елементи захисту турбогенератора ТВВ-1000-4У3;
- розрахувати уставки релейного захисту блока турбогенератор-трансформатор 1000МВт;
- дослідити параметри та переваги мікропроцесорного захисту блока генератор-трансформатор 1000 МВт;
- дослідити заходи з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях;

– розрахувати техніко-економічні показники заміни електромеханічного захисту блока генератор-трансформатор з генератором ТВВ-1000 на мікропроцесорний.

### Слайд 4

## Об'єкт, предмет, новизна



**Об'єктом** дослідження магістерської кваліфікаційної роботи є релейний захист блока генератор-трансформатор з турбогенератором потужністю 1000 МВт.

**Предметом** дослідження в магістерській кваліфікаційній роботі є методи розрахунків уставок спрацювання релейних захистів блока генератор-трансформатор.

**Новизна роботи** полягає у розгляді електромеханічних реле та сучасних мікропроцесорних захистів, переваг заміни електромеханічних релейних захистів на мікропроцесорні.

**Інноваційність** полягає у покращенні захисту блока генератор-трансформатор шляхом заміни електромеханічного захисту на мікропроцесорний. Відмінність отриманих результатів – в розрахунку уставок блока турбогенератор-трансформаторів з генератором ТВВ-1000

**Особистий внесок.** Магістерська кваліфікаційна робота є самостійно виконаною працею, в якій автором виконано розрахунок уставок захисту генератора ТВВ-1000.

**Публікації** результатів опубліковані у тезах доповідей

Науково-технічної конференції факультету електроенергетики та електромеханіки – Рубаненко О. Є., **Мазур І. М.** Особливості сучасного релейного захисту турбогенераторів 1000 МВт: тези наук. – тех. конф. Вінниця 2023 р. С.1 - 4 Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-feeem/all-feeem-2024/paper/view/19627/16248>

### Слайд 5

## Класифікація релейних захистів генератора ТВВ-1000



Класифікація захистів забезпечує та розширює як систематизацію, так галузь застосування цих пристроїв за критеріями використання. Важливим є те, що різні застосування та завдання можуть потребувати різних типів захисту. Основні критерії класифікації захистів містять:

Захист генераторів – спрямований на захист турбогенераторів та їх електричних генерувальних частин. Цей пристрій забезпечує швидкодійний та селективний захист різноманітних полумок. Вони застосовуються для захисту, управління та моніторингу генераторів і блоків генератор-трансформатор на будь-яких типах електростанцій малої і великої потужності.

#### **За функціональним призначенням**

*Поздовжній диференційний захист* – захист від багатозазначних КЗ в обмотці статора та на його затискачах та міжфазні КЗ в обмотці статора генератора;

*Захист напруги першої та третьої гармонік без зони нечутливості затискачах* – захист від замикання на землю в обмотці статора;

*Струмівий захист зворотної послідовності* – захист від зовнішніх несиметричних КЗ та від несиметричних перенавантажень;

*Дистанційний захист* – захист від зовнішніх симетричних КЗ;

*Струмівий захист з двома ступенями інтегрально-залежної витримки часу* – захист від перенавантажень ротора;

*Максимальний струмівий захист* – захист від симетричних перенавантажень обмотки статора;

*Дистанційний захист* - захист від асинхронного режиму при втраті збудження;

*Максимальний захист напруги* – захист від підвищення напруги на затискачах генератора та трансформатора;

*Струмівий захист нульової послідовності* - Захист від зовнішніх КЗ на землю в мережі з заземленими нейтраліями;

### Слайд 6

# Класифікація релейних захистів генератора ТВВ-1000

*За типом перетворювача*

Аналогово-цифрові перетворювачі (АЦП) захисту – використовують обидва типи перетворювачів для комбінації аналогових та цифрових переваг.

Цифрово-аналогові перетворювачі (ЦАП) захисту – мають цифровий вхід та аналоговий вихід для забезпечення високої точності вимірювань та ефективної реалізації захисних функцій.

*За наявністю захисних функцій*

**Швидкодіючий захист** – спрямований на негайне відключення об'єкта від живлення для ліквідації серйозних пошкоджень.

**Сповільнений захист** – дає більше часу для аналізу та підтвердження несправності перед відключенням.

Відповідно до технічних завдань класифікація мікропроцесорних захистів забезпечує вибір оптимального типу та налаштування потрібних нам конфігурацій залежно від конкретних вимог та умов використання у блоці генератор-трансформатор-лінія.



7

## Слайд 7

# Характеристики захисту генератора ТВВ-1000 типу REG 670

Унікальні функції основного захисту можуть здійснювати високоселективне виявлення та усунення різноманітних пошкоджень на обмотці статора на 100%.

Алгоритм виявлення може бути використаний для розробки інтелектуальних та спеціалізованих функцій, спрямованих на оптимізацію системи захисту та розширення її можливостей з врахуванням конкретних вимог експлуатації турбогенератора. Наприклад, це може бути особливо корисним під час адаптації системи захисту до змінних умов експлуатації енергетичного об'єкта.

Пристрій REG670 використовується для комплексного захисту, управління та моніторингу генераторів і блоків «генератор-трансформатор» для різних типів електростанцій незалежно від їхньої потужності. Він забезпечений розширеним функціоналом захисту, що відповідає всім вимогам релейного захисту генераторів.

З великою кількістю аналогових входів та селективністю функцій REG670 забезпечує реалізацію багатьох функцій захисту в єдиному пристрої. У типовому використанні два таких пристрої можуть забезпечити всі необхідні функціональні можливості з високим рівнем резервування. REG670 також можна використовувати для захисту та управління шунтувальними реакторами.

Склад REG670 містить як традиційний захист 95% обмотки статора від замикання на землю, так і стовідсотковий захист обмотки, оснований на принципі накладання 3-ї гармоніки.



8

## Слайд 8

## Характеристики захисту генератора ТВВ-1000 типу REG 670



За використання принципу налагодження забезпечується захист 100% обмотки статора турбогенератора, включно й нейтраль, для будь-яких робочих режимів. Оснований на 3-ій гармоніці стовідсотковий захист обмотки статора від замикання на землю працює за принципом порівняння напруги. Стовідсотковий захист обмотки статора від замикання на землю з використанням принципу налагодження функціонує навіть у випадку, коли генератор перебуває в неробочому стані.

У захисті від асинхронного режиму, недозбудження та короткого замикання ротора на землю за струмом оберненої послідовності та ін. користуються ретельно тестованими та добре зарекомендованими алгоритмами.

Широкий спектр аналогових входів та велика бібліотека функцій надають можливість реалізації різноманітних функцій захисту в одному інтелектуальному електронному пристрої (ІЕУ).

Вбудований у систему REG670 диференційний захист призначений для ефективного захисту турбогенераторів, у яких великі перехідні процеси характеризуються значними, де потрібен невеликий час відключення. З урахуванням можливості використання кількох варіантів функцій захисту, один пристрій забезпечує ефективний захист для кількох об'єктів. Такий пристрій, який має основні функції захисту генератора, також може успішно забезпечити захист трансформатора для внутрішніх потреб. Цей принцип пропонує економічні технічні рішення, що роблять його вигідним у плані витрат та функціональності.

### Слайд 9

## Розрахунок уставок захисту обмотки статора від зовнішніх несиметричних КЗ та симетричних перевантажень



Використовуємо струмовий захист зворотної послідовності з інтегрально-залежною витримкою часу. Захист здійснюється одним фільтр-реле струму зворотної послідовності типу РТФ-6М, яке має такі елементи:

- пусковий орган без витримки часу для забезпечення пуску і повернення інтегрального органу „відсічка II”, його доставка визначається, як:

$$I_{с.пск} = 0,1 \cdot I_{Г.ном} = 0,1 \cdot 26730 = 2673 \text{ А};$$

- інтегральний орган з інтегрально-залежною величиною часу  $t_{дон} = f(I_2)$ , який забезпечує правильність роботи захисту при зміні струму зворотної послідовності  $I_2$  та охолодженні ротора після усунення несиметричного перевантаження:

$$t_{дон} = \frac{A}{I_{2л,0}^2} = \frac{8}{40,213^2} = 0,0049 \text{ с};$$

- орган „відсічка I”, який спрацьовує без витримки часу та призначений для дії захисту з незалежною витримкою часу, як резервний захист від зовнішніх несиметричних КЗ:

$$I_{сз2,I} = 0,4 \cdot I_{Г.ном} = 0,4 \cdot 26730 = 10692 \text{ А};$$

### Слайд 10

## Розрахунок уставок захисту обмотки статора від зовнішніх несиметричних КЗ та симетричних перевантажень



➤ орган „відсічка II”, який спрацьовує без витримки часу та призначений для резервування швидкодіючих захистів турбогенератора з незалежною витримкою часу:

$$I_{сз2,II} = \frac{I_{2П.с}^2}{k_{\psi}} = \frac{40,213 \cdot 26730}{1,2} = 895744 \text{ А};$$

➤ сигнальний орган, який спрацьовує без витримки часу та призначений для фіксування з незалежною витримкою часу недопустимого несиметричного навантаження генератора:

$$I_{сз2,СО} = 0,05 \cdot I_{Г.ном} = 0,05 \cdot 26730 = 1336,5 \text{ А}$$

### Слайд 11

## Розрахунок уставок захисту ротора від перенавантаження струмом збудження



Використовуємо струмовий захист з двома ступенями інтегрально-залежної витримки часу. Захист здійснюється за допомогою блок-реле РЗР-1М, яке має такі елементи:

➤ - вхідний перетворювальний пристрій:  $\frac{I_{рот.ном.с}}{I_{рзр.ном}} = 0,7 \div 1,2 \cdot де \cdot I_{рзр.ном} = 2,5 \cdot А$

➤ сигнальний орган, який спрацьовує без витримки часу при струмах збудження, коли вони перевищують допустиме значення:  $I_{сз.СО,перс} = 1,05 \cdot I_{рот.ном} = 1,05 \cdot 7600 = 7980 \text{ А}$

витримка часу сигнального органу – 10 сек;

➤ пусковий орган, який спрацьовує без витримки часу та контролює пуск і повернення інтегрального органу:  $I_{сз.ПО,перс} = 1,1 \cdot I_{рот.ном} = 1,1 \cdot 7600 = 8360 \text{ А}$

інтегральний орган, який діє з двома інтегрально-залежними витримками часу в залежності від накопичування теплоти в обмотці збудження при перенавантаженнях, та охолодження після усунення перенавантаження. Зміна уставок інтегрального органу не здійснюється. Для приєднання реле РЗР-1М використовується пристрій П-528, який має трансформатор постійного струму.

### Слайд 12

## Економіка

Порівнюючи технічні переваги та недоліки в економічній частині, ми розраховували економічну доцільність, заміни електромеханічного релейного захисту на мікропроцесорний.

Із врахуванням

➤ Витрат на впровадження нових мікропроцесорних терміналів традиційно, як і впровадження будь-якої нової техніки, включають вартість капітальних вкладень необхідних для прибирання або створення удосконаленої схеми захисту і поточні річні витрати на її  $K_{\text{зах}} = 800 + 117,85 = 917,85$  (тис.грн.),

➤ Вартість нового захисту визначається за рівнем сучасних ринкових цін.  $K_{\text{зах}} = 800$  тис. грн

➤ Поточні витрати на утримання захисту включають витрати на поточне обслуговування захисту. Ці витрати не істотні, тому можуть прийматися в розмірі 0,5-1% від вартості захисту. До складу поточних витрат також включаються амортизаційні відрахування. Таким чином, поточні витрати на експлуатацію релейного захисту визначаються за виразом.

$$C_{\text{пот.зах}} = 4,59 + 76,49 = 81,08 \text{ тис.грн.}$$

➤ Ціну економічного збитку від недовіпущеної енергії.  $\Delta D_e = 816000 \cdot 2,64 \cdot 2 \cdot \frac{120}{60} = 8616,96$  тис.грн.

➤ Термін окупності установки пристрою мікропроцесорного захисту  $T_{\text{ОК}} = \frac{917,85}{314,42 - 81,08} = 3,93$  років.

Розрахунки економічних показників заміни застарілого електромеханічного релейного захисту на новий мікропроцесорний захист на прикладі релейного захисту блоку генератор-трансформатор свідчать про те, що термін окупності такої заміни **3,93** роки. Отже такі заходи економічно виправдані.

## Слайд 13

## Висновки



Аналіз переваг мікропроцесорних захистів порівняно із електромеханічними пристроями захисту у застосуванні для блоку генератор-трансформатор. Підкреслив що мікропроцесорний захист включає в собі; кращу швидкість реакції, гнучкість та програмуваність, великий функціональний обсяг, точність та надійність, зворотній зв'язок, селективність, запис даних та функцію віддаленого керування. Затвердив себе перспективним засобом захисту електричних систем, забезпечуючи високий рівень автоматизації, захисту та контролю станом генератора

Визначений термін окупності заміни застарілого електромеханічного релейного захисту на новий мікропроцесорний захист серії **REG-670**, для блоку генератор-трансформатор свідчить про те, що термін окупності такої заміни становитиме 3,93 роки.



## Слайд 14

**Дякую за увагу.  
Доповідь закінчена**

Слайд 15